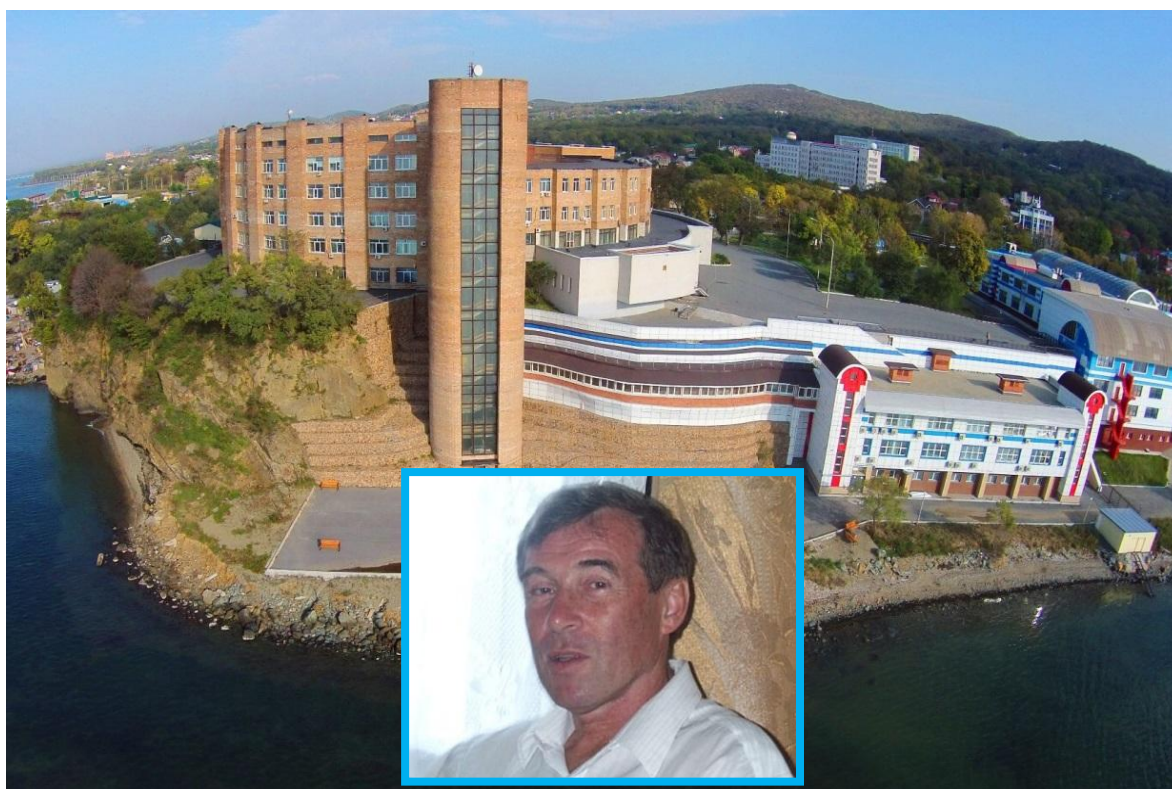




**ФАНО РОССИИ**  
**Федеральное государственное**  
**бюджетное учреждение науки**  
**Национальный научный центр**  
**морской биологии**  
**Дальневосточного отделения**  
**Российской академии наук**  
**(ННЦМБ ДВО РАН)**



**НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**IV ЧТЕНИЯ ПАМЯТИ АКАДЕМИКА В.Л. КАСЬЯНОВА**

**«БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ОНТОГЕНЕЗ И ЭВОЛЮЦИЯ»**

**ПРОГРАММА И МАТЕРИАЛЫ**

3-5 октября 2017 г.  
Владивосток

Научная конференция «Биоразнообразие, онтогенез и эволюция»: IV чтения памяти академика В.Л. Касьянова, 3-5 октября 2017 г., Владивосток: Программа и материалы / Ред.: Дроздов А.Л., Корниенко Е.С., Тюрин С.А. Владивосток: ННЦМБ ДВО РАН, 2017. 114 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ .....5

*Е.С. Балакирев*

ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ И МОНИТОРИНГА  
БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ В МОРЕ ..... 9

*А.С. Бурундуков, А.Л. Дроздов*

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ И ФИНАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ..... 10

*К.А. Дроздов, А.В. Усольцев*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ КОФЕЙНОГО ДЕРЕВА  
(*COFFEA ARABICA*) И ЧАЙНОГО КУСТА (*CAMELLIA SINENSIS*) МЕТОДОМ ЯДЕРНО-  
МАГНИТНО РЕЗОНАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ..... 24

*В.А. Дячук, О.В. Юрченко*

РАЗВИТИЕ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ У ТИХООКЕАНСКОЙ УСТРИЦЫ *CRASSOSTREA*  
*GIGAS*.....28

*П.М. Жадан, М.А. Ващенко*

МЕХАНИЗМЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СРОКИ, УСПЕШНОСТЬ И БЛОКИРОВАНИЕ  
НЕРЕСТА В ПРИРОДНЫХ ПОСЕЛЕНИЯХ МОРСКОГО ЕЖА.....31

*В.В. Земнухов*

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ В АТМОСФЕРЕ .....33

*В.В. Исаева*

ЭВОЛЮЦИОННАЯ СТРАТЕГИЯ МЕТАЗОА.....36

*А.П. Касаткина, М.В. Столярова*

ПИТАНИЕ РАСТВОРЁННОЙ ОРГАНИКОЙ КАК ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫЖИВАНИЯ  
ЩЕТИНКОЧЕЛЮСТНЫХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ МОРСКОЙ СРЕДЫ..... 40

*С.И Кияшко*

СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ, ТРОФИЧЕСКИЕ НИШИ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ. .... 45

*Е.С. Корниенко*

РАКИ-ОТШЕЛЬНИКИ – ОТШЕЛЬНИКИ ИЛИ ОБИТАТЕЛИ КОММУНАЛЬНОЙ  
КВАРТИРЫ? РОЛЬ ПАРАЗИТОВ В ИХ ЖИЗНИ ..... 47

*Е.Е. Лебедев, Д.И. Остромышенский, О.И. Подгорная, Л.С Адонин*

ТРАНСПОЗОНЫ В ТРАНСКРИПТОМЕ МОРСКОГО ЕЖА *STRONGYLOCENTROTUS*  
*INTERMEDIUS*. .... 51

*Л.Е. Лебедев*

КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ БИОТЫ БЕРЕГОВЫХ  
ВЫБРОСОВ В БУХТЕ СЕВЕРНАЯ СЛАВЯНСКОГО ЗАЛИВА (ЗАЛИВ ПЕТРА  
ВЕЛИКОГО) ..... 53

*Л.Е. Лебедев, Е.Б. Лебедев*

МАССОВЫЕ ВЫБРОСЫ ЯПОНСКОГО АНЧОУСА НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ  
ЯПОНСКОГО И ЮГО-ЗАПАДЕ ОХОТСКОГО МОРЕЙ..... 59

*В.А. Овсянников*

ГИБЕЛЬ ЭМБРИОНОВ ЧЕЛОВЕКА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ  
МОБИЛЬНОЙ ТЕЛЕФОНИИ ..... 65

*С.О. Очеретяна*

ЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ-МАКРОФИТЫ ОСТРОВА МАТУА (СРЕДНИЕ КУРИЛЫ)..... 67

*О.И. Подгорная*

ВНЕКЛЕТОЧНАЯ ДНК ПОМОЖЕТ ПРОЛИТЬ СВЕТ НА НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ..... 73

<i>А.В. Полевщиков, Е.В. Савочкина, И.В. Кудрявцев, А.С. Шилов, А.Д. Завакевич, В.А. Секун</i>	
АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТУНИКИ АСЦИДИИ <i>HALOCYNTHIA AURANTIUM</i> ПОСЛЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ.....	80
 <i>Н.И. Селин</i>	
ОСОБЕННОСТИ ВОСПРОИЗВОДСТВА ПОПУЛЯЦИИ <i>NIHONOTRYPAEA JAPONICA</i> (DECAPODA: CALLIANASSIDAE) В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ .....	85
 <i>Э.А. Титлянов, Т.В. Титлянова</i>	
СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЕНТОСНОЙ МОРСКОЙ ФЛОРЫ В ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЕ ЗАЛИВА САНЬЯ (ОСТРОВ ХАЙНАНЬ, КИТАЙ).....	86
 <i>С.В. Точилина</i>	
О СИММЕТРИИ РАДИОЛЯРИЙ.....	88
 <i>В.П. Челомин, А.А. Карпенко</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИКОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ПРИМОРЬЯ.....	102
 <i>Г.О. Черепанов, Е.Б. Малашичев</i>	
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЩИТКОВ КАРАПАКСА У НОВОРОЖДЕННЫХ ОЛИВКОВОЙ ( <i>LEPIDOCHELYS OLIVACEA</i> ) И ЗЕЛЁНОЙ ( <i>CHELONIA MYDAS</i> ) ЧЕРЕПАХ С ЮЖНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОСТРОВА ШРИ-ЛАНКА .....	105
 <i>О.В. Юрченко, А.В. Калачев</i>	
МОРФОЛОГИЯ И СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОМАТИЧЕСКИХ КЛЕТОК ГОНАД ТИХООКЕАНСКОЙ УСТРИЦЫ.....	112
 <i>В.В. Юшин</i>	
ЭВОЛЮЦИЯ МУЖСКИХ ГАМЕТ НЕМАТОД: ДЕЛО ОТРЯДА RHABDITIDA (NEMATODA).....	114

## ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

Все заседания будут проходить в конференц-зале Национального научного центра морской биологии (ННЦМБ ДВО РАН) (бывший Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН) по адресу Владивосток, ул. Пальчевского, 17 (пригородный электропоезд, остановка «Чайка»).

### 3 ОКТЯБРЯ, ВТОРНИК

9-00 – 10-00 – РЕГИСТРАЦИЯ В КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛЕ ННЦМБ ДВО РАН

10-00 – 10-20 – ОТКРЫТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ И ПРИВЕТСТВИЯ  
**А.В. Адрианов** – академик, директор ННЦМБ ДВО РАН

Сессия 1.

Председатель В.В. Юшин

10-20 – 10-50 **В.В. Юшин**

Эволюция мужских гамет нематод: дело отряда Rhabditida (Nematoda)

10-50 – 11-30 **В.В. Исаева**

Эволюционная стратегия Metazoa

11-30 – 11-50 **О.В. Юрченко, А.В. Калачев**

Морфология и сезонные изменения соматических клеток гонад тихоокеанской устрицы

### ПЕРЕРЫВ НА ОБЕД

Сессия 2.

Председатель С.А. Тюрин

13-00 -13-20 **П.М. Жадан, М.А. Ващенко**

Механизмы, определяющие сроки, успешность и блокирование нереста в природных поселениях морского ежа

13-20 – 13-40 **Е.С. Корниенко**

Раки-отшельники – отшельники или обитатели коммунальной квартиры?  
Роль паразитов в их жизни

13-40 –14-00 **Н.И. Селин**

Особенности воспроизводства популяции *Nihonotrypaea japonica* (Decapoda: Callinassidae) в заливе Петра Великого Японского моря

14-00 –14-20 **Э.А. Титлянов, Т.В. Титлянова**

Сезонные изменения бентосной морской флоры в литоральной зоне залива Санья (остров Хайнань, Китай)

### **Перерыв на чаепитие**

Председатель А.В. Калачев

14-40–15-00 **А.П. Касаткина, М.В. Столярова**

Питание растворённой органикой как возможность выживания щетинкочелюстных в экстремальных условиях морской среды

15-00 – 15-20 **В.П. Челомин, А.А. Карпенко**

Перспективы изучения экотоксикологических характеристик пластикового загрязнения прибрежных акваторий Приморья

Общая дискуссия

### **4 ОКТЯБРЯ, СРЕДА**

Сессия 3

Председатель О.И. Подгорная

10-00 – 10-20 **Е.Е. Лебедев, Д.И. Остромышенский, О.И. Подгорная, Л.С. Адонин**

Транспозоны в транскриптоме морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*

10-20 – 10-50 **О.И. Подгорная**

Внеклеточная ДНК поможет пролить свет на нерешенные проблемы теории эволюции

10-50 – 11-10 **Е.С. Балакирев**

Эволюционная генетика для сохранения и мониторинга биологического разнообразия в море

### **Перерыв на чаепитие**

11-25 – 11-45 **А.В. Полевщиков, Е.В. Савочкина, И.В. Кудрявцев, А.С. Шилов, А.Д. Завакевич, В.А. Секун**

Анализ динамики восстановления туники асцидии *Halocynthia aurantium*  
после экспериментального повреждения

11-45 – 12-05 **С.В. Точилина**

О симметрии радиолярий

## **ПЕРЕРЫВ НА ОБЕД**

Сессия 4

Председатель А.Л. Дроздов

13-00 – 13-30 **С.И. Кияшко**

Стабильные изотопы, трофические ниши и биоразнообразие

13-30 – 13-45 **К.А. Дроздов, А.В. Усольцев**

Сравнительный анализ вторичных метаболитов кофейного дерева (*Coffea arabica*) и чайного куста (*Camellia sinensis*) методом ядерно-магнитно-резонансной спектроскопии

13-45 – 14-05 **В.А. Овсянников**

Гибель эмбрионов человека от электромагнитных излучений мобильной телефонии

14-05 – 14-20 **В.А. Дячук, О.В. Юрченко**

Развитие нервной системы у тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas*

14-20 – 14-40 **В.В. Земнухов**

Происхождение жизни в атмосфере

14-40 – 15-00 **А.С. Бурундуков, А.Л. Дроздов**

Алгоритмическая теория эволюции и финальный синтез

## **Перерыв на чаепитие и постерная секция**

### **СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

**Г.О. Черепанов, Е.Б. Малашичев**

Изменчивость щитков карапакса у новорожденных оливковой (*Lepidochelys olivacea*) и зелёной (*Chelonia mydas*) черепаха с южного побережья острова Шри-Ланка

**Л.Е. Лебедев, Е.Б. Лебедев**

Массовые выбросы японского анчоуса на северо-западе Японского и юго-западе Охотского морей

**Л.Е. Лебедев**

Качественный и количественный состав биоты береговых выбросов в бухте Северная Славянского залива (залив Петра Великого)

**С.О. Очеретяна**

Зеленые водоросли-макрофиты острова Матуа (средние Курилы)

15-20 **Общая дискуссия**

По окончании конференции фуршет.



# ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ И МОНИТОРИНГА БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ В МОРЕ

Е.С. Балакирев

*Национальный научный центр морской биологии, ДВО РАН, Владивосток 690041*

Биологическое разнообразие – динамический результат непрерывно продолжающихся эволюционно-генетических процессов. Следовательно, для предотвращения губительных трансформаций природных популяций, лежащих в основе масштабных потерь биоразнообразия, необходимо учитывать фундаментальные эволюционно-генетические принципы. Действительно, имеется всё возрастающий объём данных, доказывающий наличие вредоносных генетических последствий антропогенных пертурбаций (промысел, модификации местообитаний, гомогенизация биоты и т.д.), которые увеличивают риск вымирания, особенно для ресурсных видов, находящихся под давлением эксплуатации человека. В настоящем докладе я акцентирую внимание на некоторых приоритетных направлениях эволюционно-генетических исследований (внутривидовая изменчивость, идентификация видов, гибридизация и проблемы ДНК-штрихкодирования, инбредная и аутбредная депрессии, анализ состава и структуры микробиома, этические аспекты взаимодействия человека с природой), имеющих прямое отношение к задачам сохранения и мониторинга биоразнообразия в море.

# АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ И ФИНАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ

А.С. Бурундуков<sup>1</sup>, А.Л. Дроздов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*ДВФУ, Владивосток, Россия, alexandr.burundukov2012@mail.ru*

<sup>2</sup>*НИЦМБ ДВО РАН, ДВФУ, Владивосток, Россия, anatoliyld@mail.ru*

Зародившиеся в физике процессы унификации научного знания приобрели актуальное значение для биологии с 1918-32 гг., когда Р. Фишером, Дж. Холдейном и С. Райтом был осуществлен синтез теории эволюции Ч. Дарвина и генетики Г. Менделя в рамках “modern synthesis” (по словам Дж. Хаксли), или синтетической теории эволюции (СТЭ). Второй синтез воплотился в эволюционной биологии развития (EvoDevo), возникшей в 70-80 гг. после включения в СТЭ данных молекулярной генетики и результатов детальных исследований процессов онтогенеза. Третий синтез был подготовлен работами 50-х гг. К.Х. Уоддингтона, Р. Ридла, Дж. Уайта, М.А. Шмальгаузена и оформился в рамках предложенного М. Пилуччи [Pigliucci, 2010] расширенного эволюционного синтеза (EES), объединяющего концепции EvoDevo и экологии. К EES примыкает экологическая эволюционная биология развития (EcoEvoDevo), предметами исследований которой служат фенотипическая пластичность, эпигенез, симбиогенез и взаимосвязь организмов с экологической нишей [Gilbert, 2015]. По мнению авторов, существенным изъяном всех этих замечательных теорий является отсутствие четкого и конструктивного определения термина «информация», препятствующее финальному синтезу EES/EcoEvoDevo с кибернетикой и информатикой, когнитивистикой, искусственными нейросетями и искусственным интеллектом (ИИ), системологией и системной динамикой и т.д. Главная причина провала всех попыток распространения методов теории информации Шеннона-Уивера на биосоциальные науки очевидна: теорией информации она не является, потому что это – статистическая теория связи. А так как семантика переданного сообщения не входит в сферу компетентности теории связи, то ни статистическая, ни комбинаторная теория информации в принципе неспособны дать адекватную экспликацию таким терминам как «смысл», «цель», «ценность информации» и пр., без которых невозможна разработка теоретического основания ни биологии, ни гуманитарных дисциплин. Это стало поводом для разработки репликаторно-этологической теории семантической информации (РЭТСИ) [Бурундуков и др., 2016].

ОТ РЭТСИ К АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ (АТЭ)

С точки зрения динамики иерархических систем в системологии выделяют два ее аспекта – структурный и функциональный. Структурная иерархическая теория (теория сложности) исследует способы соединения элементов системы для нахождения оптимума в неизбежном конфликте между сложностью и устойчивостью, а функциональная (динамическая) теория изучает взаимодействия иерархической системы с окружающей средой (макроподход) и вертикально-горизонтальные функциональные связи (микроподход) [Николис, 1989]. Формализация системы и структуры легко осуществляется в рамках теоретико-множественного или категорно-топосного подходов, формализация функционального аспекта в значительной мере осложняется необходимостью использования термина «информация».

Напомним основные положения РЭТСИ:

1. **Онтологический статус.** Информация не универсальна, т.к.: а) она не существует в неорганическом мире; б) появляется одновременно с возникновением жизни, являясь ее неотъемлемым атрибутом; в) не является сохраняющейся величиной, т.е. не существует закона сохранения информации;

2. **Полиморфизм.** Информация есть «неслиянное и нераздельное» триединство а) репликатора (как программы для копирования информации из одной базы данных в другую); б) регуляторных процессов в порожденных репликатором функциональных системах; в) процессов взаимодействия функциональных систем с окружающей средой (включая коммуникацию), т.е.

$$I = \langle I_R; I_F; I_C \rangle;$$

3. **Эволюционный принцип.** Фундаментальной основой биосоциальных информационных процессов является раздражимость живой материи, а эволюция форм обработки информации связана с возникновением новых, иерархически более высоких контуров обработки базовой сенсорной (=перцептивной) информации эволюционно более молодыми структурами функциональных систем. В этом смысле наука есть высшая форма раздражимости живой материи, достигшей стадии социального развития и использующей в своей жизнедеятельности семиотические структуры;

4. **Семантика,** понимаемая как смысл информационных процессов, отождествляется с биосоциальной значимостью раздражителя и проявляется эффекторными системами в форме внешней и внутренней активности;

5. **Индивидуальность.** Носителем индивидуальной генетической и этологической информации является биологический организм. С появлением второго репликатора и второй сигнальной системы индивидуальное семантическое пространство взламывается, и

интерсубъективная информация в форме научных знаний становится уникальным неиссякаемым ресурсом человечества в силу отсутствия закона сохранения информации.

В исследованиях по ИИ информация делится на процедурную и декларативную; процедурная информация овеществлена в программах, а декларативная – в данных, с которыми эти программы работают. Проведем аналогичную процедуру в биоинформатике, где выделим алгоритмическую  $I_P$  (результат перекодирования стимула в сигнал) информацию и алгоритмическую  $I_A$  (преобразующую сигнал в реакцию организма), т.е. информационная триада примет форму

$$I = \langle I_R; I_P; I_A \rangle,$$

где  $I_A$  включает как внутреннюю, так и внешнюю информацию. Это смещение фокуса внимания позволяет перебросить мостик от РЭТСИ к АТЭ.

### ПРИНЦИПЫ АТЭ

Фундаментальным понятием конструктивной математики является конструктивный объект – математический объект, возникающий в результате развертывания конструктивных процессов. Примерами конструктивных объектов могут служить слова в фиксированном алфавите, конечные графы, конечные абстрактные топологические комплексы, алгоритмы и исчисления, конечные автоматы, конечно определенные группы и т.д. Другим фундаментальным понятием математики и кибернетики является понятие алгоритма. В самом широком понимании алгоритм – это точное и однозначное предписание, задающее процесс преобразования исходного конструктивного объекта в результирующий конструктивный объект.

Данное определение конструктивных объектов ограничивает их предметную область семиотическими (идеальными) концептами и системами, а определение алгоритмов – вычислительными процессами. Чтобы использовать эти понятия для описания процессов в материальном мире нам, по заветам А. Эйнштейна, необходимо 1) отказаться от точности и однозначности алгоритма; 2) допустить существование наряду с вычислительными алгоритмами алгоритмов управляющих; 3) признать очевидное существование конструктивных объектов материального мира. Это позволит осуществить «сошествие» алгоритмов из идеального, горнего мира в мир несовершенный, дольный. Этот процесс можно начать с замены однозначных функций и отображений соответствиями, соответствия как множества бинарных отношений преобразовать в нечеткие множества, а вычислительные процессы дополнить реальными, эмпирическими процессами. В итоге математика последует за физикой и сольется с естествознанием. Алгоритмами и алгоритмическими системами станут ДНК и РНК, протеины, регуляторные и нейронные сети, рефлексy, релейно-контактные схемы, тексты, научные

теории, а конструктивными объектами окажутся все организмы и биосфера, культурные артефакты от каменного рублина и пирамид в Гизе до космических станций и Большого адронного коллайдера. Вся наша жизнь – поведение, судьба – это использование врожденных и приобретенных алгоритмов в непрерывном гераклитовом потоке актуализирующихся ситуаций.

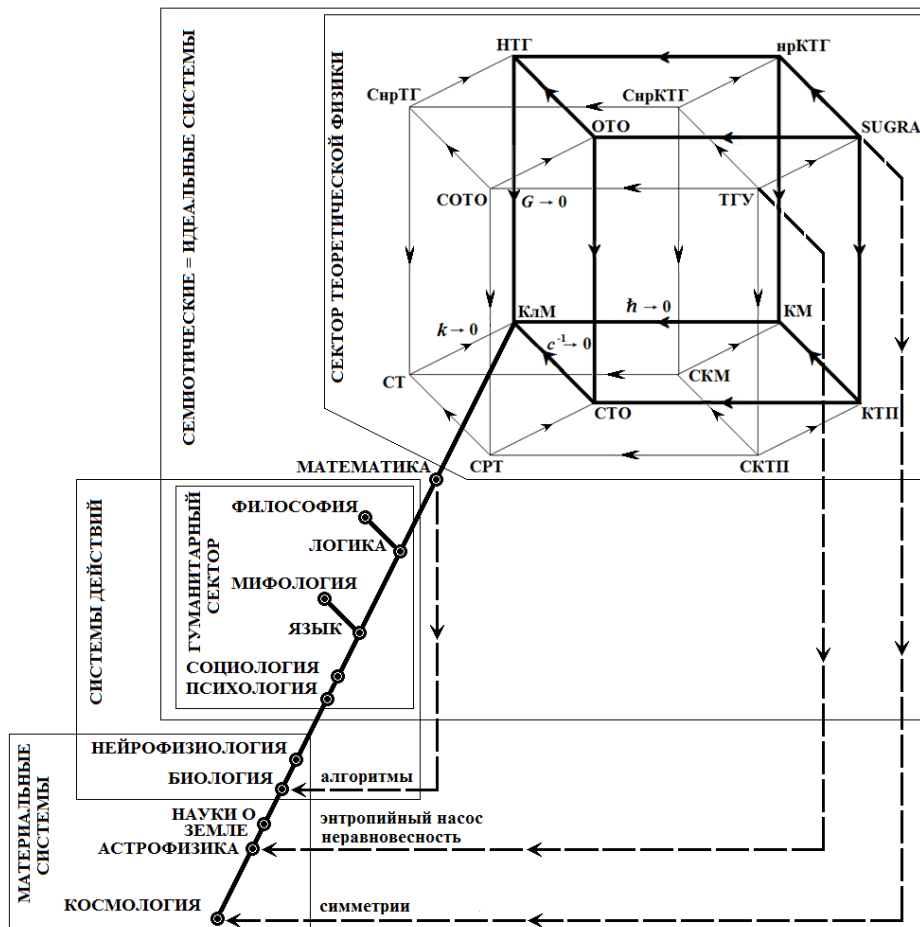
Тезис Чёрча-Тьюринга, примененный к биологическому репликатору, сводится к очевидному утверждению, что каждой жизнеспособной программе (алгоритму) соответствует эквивалентный ей организм. Основной тезис АТЭ состоит в утверждении, что связь между репликатором и функциональной системой может быть установлена алгоритмической теорией информации А.Н. Колмогорова, центральным понятием которой является энтропия индивидуального объекта, называемая сложностью объекта по Колмогорову. Под сложностью объекта интуитивно подразумевается минимальное количество информации, необходимое для создания и/или восстановления данного объекта [Колмогоров, 1965]. Таким образом, подчеркиваем, колмогоровская теория информации отвечает за связь между репликатором и организмом, РЭТСИ – за отношения организма с окружающей средой, а АТЭ должна синтезировать оба подхода.

Отметим, что соответствие между репликатором и функциональной системой не является ни точным, ни однозначным – для химического репликатора это выражается неоднозначностью соответствий генотипа и фенотипа из-за неполной пенетрантности многих мутаций, генома и протеома – как результат альтернативного сплайсинга и т.д. Другой важной особенностью биоинформатики является ее антителиологичность – отсутствие «генеральных планов» онтогенеза и конечных целей эволюции, что объясняется стохастичностью и локальностью алгоритмов. Стохастичность и локальность алгоритмов коллективного поведения проявляются в стигмергии<sup>1</sup> – спонтанном непрямом взаимодействии между организмами децентрализованной системы (например, при строительстве муравейника или термитника, прокладывании и оптимизации муравьиных троп и т.д.), роевом интеллекте боидов (bird-oid objects) и пр. Постепенный отход от спонтанности и стохастичности к планированию действий появляется вместе с сознанием. Согласно теореме К. Гёделя о неполноте формальных систем, в каждой непротиворечивой формальной системе найдется формально неразрешимое предложение. В биологической интерпретации это соответствует утверждению о принципиальном несовершенстве любой функциональной системы и эволюционной неизбежности возникновения иерархически все более высоких алгоритмов управления. Из того, что алгоритм сам является

---

<sup>1</sup> От *στίμα* — знак, метка, и *ἔργον* — действие, работа. Термин «стигмергия» ввел П.-П. Грассе в 1959 при объяснения поведения колонии термитов.

конструктивным объектом, следует, что мы можем рассматривать алгоритмы от алгоритмов, то есть естественным образом описать возникновение иерархических уровней обработки информации. Но, если главным объектом эволюции многоклеточных являются онтогенезы, а онтогенез представляет собой реализацию химических алгоритмов самоорганизации [Марков, Наймарк, 2014], то вся биологическая эволюция сведется к эволюции алгоритмов. Усилить этот тезис можно утверждением, что в доинформационный период существования Вселенной, когда репликаторы еще не появились, эволюция мироздания определялась алгоритмами в форме законов сохранения, имманентными комплексу пространство-время-материя и овеществленными в его симметриях. Тогда вся эволюция Вселенной, неорганического, биологического и социального мира окажется эволюцией алгоритмов, что и оправдывает термин АТЭ. Считать информацией алгоритмы эволюции неорганического мира мы не можем, так как через  $10^{-10}$  с после Большого Взрыва они неизменны и универсальны, что делает бессмысленным копирование и невозможным ни их редактирование, ни удаление материальными системами. На приведенном ниже рисунке изображена схема последовательности унификаций научного знания.



## КРАТКИЙ СЦЕНАРИЙ ГЛОБАЛЬНОГО ЭВОЛЮЦИОНИЗМА В АТЭ

**Доинформационный период.** На раннем космологическом (энтропийном) этапе компактификация  $n$ -мерного суперпространства привела к разделению 4-мерного пространства-времени и материи. Охлаждение расширяющейся Вселенной вызвало каскад спонтанных нарушений симметрий, завершившийся образованием четырех фундаментальных взаимодействий, трех поколений кварков и лептонов, а также необратимостью времени. В результате рекомбинации протонов и электронов электромагнитное излучение отделилось от вещества, длина джинсовской волны упала в  $10^{13.5}$  раз, что послужило толчком к формированию крупномасштабной структуры Вселенной, образованию галактик и появлению звезд первого поколения. В дисках спиральных галактик возникает галактический цикл вещества, возвращающий в новые циклы звездообразования обогащенное тяжелыми элементами вещество, распыленное после взрывов сверхновых. Поэтому в звездных системах последующих поколений могут формироваться планеты с силикатной литосферой, а наличие на их поверхности жидкой воды в условиях термодинамической неравновесности приводит к образованию диссипативных структур, в том числе гидрологического и геохимического циклов. На границах геохимических барьеров происходит выделение энергии, за которую начинают «конкурировать» автокатализаторы, образовавшиеся из полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), которые возникли на поверхности частиц космической пыли. В результате химической эволюции мир ПАУ сменил РНК-мир, на базе которого зародился ДНК-мир, т.е. появился **первый репликатор**, ускоривший геохимические реакции примерно в  $10^{17}$  раз, что сделало его одним из главных факторов геологической эволюции Земли. Известно шесть способов изменения информации, содержащейся в первом репликаторе: 1) мутации в белок-кодирующих областях генов, 2) мутации в регуляторных областях генов, 3) амплификация (дупликация, полиплоидизация), 4) перекомбинирование белков и фрагментов генов за счет мобильных элементов, 5) горизонтальный перенос генов, 6) симбиогенез [Марков, Наймарк, 2014].

**Генно-регуляторный уровень** обработки информации. Адаптивная реакция одноклеточного на изменение внешней или внутренней среды сводится к таксисам и кинезам и/или регулированию метаболизма через экспрессию генов. Стимул, полученный белком-рецептором (G-protein-coupled receptors, GPCRs) за счет присоединения лиганда и преобразованный в сигнал, в первом случае передается цитоплазматическими сигнальными белками (CheA, CheY, CheW и CheZ у бактерий) на эффекторы – реснички, цирри (слитые реснички) для ползания, жгутики, сократительные фибриллы (мионемы). Во втором случае – через сигнальные пути активирования протеинкиназ (индукторов и

репрессоров) путем присоединения к ним фосфатных групп и завершается передачей сигнала транскрипционным факторам (ТФ), осуществляющим поиск соответствующего сайта связывания или энхансера, и прикреплением к нему, что приводит либо к активизации, либо подавлению транскрипции гена. Наиболее хорошо изучены внутриклеточные сигнальные пути PI3K-Akt, JAK-STAT, NF-kB, гетеротримерных G-белков, Ras-МАРК/ERK, Wnt, Hedgehog, Fas и сигнальный каскад, активирующий программу конъюгации дрожжей [Peisajovich at all, 2010]. Недавно международной группе генетиков удалось целенаправленно изменить поведение бактерий *E. coli*, встроив несколько генов, составляющих два функциональных модуля обработки информации [Liu at all, 2011]. Эмбриогенез и онтогенез растений, формирование меристем, корневой системы, сосудов, фотоморфогенез, филлотаксис, развитие цветков и соцветий контролируются гомеостатическими генами, содержащими MADS-боксы. В основе генно-регуляторной системы растений лежит раздражимость, обусловленная структурными и функциональными изменениями мембран под действием внешних (температура, свет, влажность почвы) и внутренних (фитогормоны, сахара, минеральные элементы) факторов, а непосредственный контроль за развитием органов и тканей осуществляют ТФ.

**Нейро-этологический уровень.** Животные начинают использовать *Нох*-гены для «блочного программирования» алгоритмов онтогенеза и микро-РНК для его регулирования. В результате дальнейшей клеточной специализации животные выходят на новый уровень обработки информации, при этом основой физиологических процессов в клетках-рецепторах становятся GPCRs, а функцией нейронов – быстрая передача возбуждения от рецепторов к эффекторам, что позволило животным перейти к локомоции. Образование *нейронных сетей* (НС) приводит к появлению кратковременной и долговременной памяти, нейромолекулярный механизм которой был установлен в экспериментах Э. Канделя с сотрудниками при изучении формирования условного рефлекса у аплии [Кандель, 2011]. Оказалось, что возбуждение модулирующего нейрона увеличивает содержание протеинкиназы А в сенсорном нейроне, что приводит к снижению порога его срабатывания (кратковременная память). Когда же концентрация протеинкиназы А превышает критическое значение, она проникает в ядро сенсорного нейрона и активирует транскрипционный фактор CREB, который вызывает разрастание синапса сенсорного нейрона вблизи моторного (долговременная память). Этот универсальный механизм лежит в основе процессов восприятия (восприятие = память + внимание, выраженное в перцептивных действиях), позволяющих разделить объект и фон и являющихся нейрофизиологическим основанием наглядно-действенного мышления и самообучения животного. Гормональное регулирование усовершенствовалось с



появлением специализированных желез животных. Диффузная, сетчатая и радиальная организация НС кишечнорастных и иглокожих обеспечивала довольно примитивный поведенческий репертуар, поэтому появление билатеральных животных ознаменовало существенный эволюционный прорыв. Стволовая НС обеспечила расцвет червей. Появившаяся у аннелид узловая НС достигла совершенства у головоногих моллюсков и эусоциальных насекомых – муравьев, термитов, пчел, шмелей. У них важнейшим приобретением стала дистантная чувствительность, стимулировавшая появление принципиально нового качества многоклеточного организма – упреждающей адаптации и превратившая *реактивный* организм в *активный*. Нейрофизиологическим субстратом этого превращения стали две петли обратной связи – рефлекторное кольцо [Бернштейн, 1990] и акцептор результатов действий [Анохин, 1968], запустившие механизм опережающего отражения и позволивший животному прогнозировать события на основании собственного опыта. Надглоточный узел из парных ганглиев головоногих моллюсков так сложно устроен, что его называют мозгом. Вполне вероятно, что головоногие – самые разумные представители беспозвоночных животных. Физиологической основой сложного поведения общественных насекомых стал сильно развитый нейрогемальный орган – протоцеребрум с увеличенной парой грибовидных тел, в которых сосредоточены координирующие и высшие ассоциативные центры НС, при этом сложную социальную систему обеспечила сложная система коммуникации. Дальнейший прогресс головоногих был невозможен ввиду непродолжительности жизни отдельной особи. Невозможность прогресса в поведении эусоциальных насекомых, кроме того, обусловлена ограниченными коммуникативными возможностями химической сигнализации и языка танца пчел, отсутствием индивидуального опыта и ограниченной прочностью хитинового покрова, ставшей непреодолимым барьером на пути дальнейшей цефализации. Новые эволюционные перспективы открылись с появлением хордовых. У круглоротых появляется гематоэнцефалический барьер. У рыб нейрогормональные клетки выделились в специализированный отдел ЦНС – промежуточный мозг, а гормональная регуляция поведения сочеталась с функциональным преобладанием зрения. Крыша среднего мозга стала центром сравнения раздражений разных модальностей. Жизнь в трехмерной среде и электрорецепция многих рыб привели к развитию мозжечка и появлению стратифицированных структур ассоциативно-аналитического типа в заднем мозге. У пелагических акул мозжечок разросся так, что накрыл собой остальные структуры и приобрел складки. Мозг амфибий (характеризуется реакцией на раздражитель по принципу доминантности, отсутствием ассоциативного центра и долговременной памяти; медленность гормональной регуляции и быстрота

неврологической порождают конфликты при быстрой смене форм поведения; центром принятия решений и хранения индивидуального опыта является среднемозговой центр, возникший в результате опережающего развития зрения и органов боковой линии. Нейрофизиологические инновации рептилий связаны с рефлекторно-ассоциативным средним мозгом и долговременной памятью, которые предоставили возможность накопления индивидуального опыта и самообучения, заложив основы ассоциативного поиска решений. Развитый в результате жизни в каменноугольных завалах мозжечок принял участие в накоплении индивидуального опыта, памяти, наглядно-действенного мышления и формирования устойчивых условных рефлексов. Согласно гипотезе В.Д. Глезера «зрение = конкретное мышление», т.е. мышление возникло на основе нейронных структур, сформировавшихся для обработки зрительной информации [Глезер, 1993]. В поведении рептилий впервые решающую роль стала играть семантика сигнала, а не сам сигнал или его интенсивность. Следующий шаг на пути прогрессивной цефализации сделан птицами, у которых высшим ассоциативным центром и основной зоной хранения индивидуального опыта стал стриатум (гиперстриатум), позволивший им освоить несложную инструментальную деятельность и игровую активность. Наиболее яркими примерами интеллектуальных способностей птиц считаются способности обучения певчих птиц пению, сложные брачные ритуалы, копирования человеческой речи попугаями, умение врановых решать сложные задачи, способность к счёту, которая развита у птиц лучше, чем у многих млекопитающих. Грачи оказались столь же умны при изготовлении и использовании орудий, как шимпанзе, а новокаледонский ворон освоил культурно передаваемую технику изготовления орудий, которые может забирать с собой для дальнейшего использования. Однако единственной птицей, прошедшей зеркальный тест на самосознание, оказалась обыкновенная сорока. Млекопитающие приобрели новую систему нервных структур – пирамидный путь (*tractus pyramidalis*), поддерживающий сложную и тонкую координацию движений, достигающий наибольшего развития у обезьян и, особенно, у человека. Пирамидальный путь сыграл исключительную роль в переходе наших предков к бипедии. Большая часть пирамидных клеток (клеток Беца) иннервирует мелкие мышцы, ответственные за тонкие дифференцированные движения пальцев, мимику и речевой акт. Наличие дополнительной моторной области в цитоархитектоническом поле Бродмана-6 было установлено лишь у сухоносых приматов. Предположительно, клетки этой области участвуют в планировании последовательностей действий. Добавочный эмоциональный контур обработки информации формируется за счет взаимодействия норадренергической, дофаминергической, серотонинергической и холинергической систем, а также ряда нейропептидов, включая эндоморфины.

«Эмоциональный мозг» (лимбическая система с прилегающим ядром) совместно с «когнитивным мозгом» (ассоциативной корой) инициируют программирование двигательного акта, осуществляемое мозжечком, базальными ганглиями, моторной корой и таламусом, а программа запускает генераторы двигательной активности ствола мозга и спинного мозга [Mogenson, 1977]. В настоящее время существует большое число конкурирующих классификаций и теорий эмоций: двухфакторная теория эмоций С. Шехтера, десятикомпонентная система К.Э. Изарда, язык аннотаций и представления эмоций (EARL) выделяет 48 эмоций, древовидные структуры в разное время предлагались Шейвером и Пэрротом, восьмилепестковое «колесо эмоций» предложил Р. Плутчик, куб эмоций построил Х. Лёвхейм и т.д. В любом варианте дополнительные эмоциональные измерения существенно увеличили размерность и структуру семантического пространства: если семантический мир амебы одномерен, то образное мышление высших животных на основе представлений (представление = восприятие + воображение) формирует в многомерном семантическом пространстве разветвленные семантические сети. Однако сложный сенсорный образ мира, объединяющий представления объектов и их свойств с пространственными, временными, ассоциативными и каузальными отношениями возникают лишь у хищных и приматов. Используемое психологами трехмерное семантическое пространство коннотативных значений Ч. Осгута – аналог трехмерной теории эмоций В. Вундта, У. Джеймса, Г.Э. Мюллера и предельно редуцированный образ многомерного семантического пространства. Д. Рид акцентирует внимание на сильной зависимости интеллектуальных способностей животного от объема кратковременной рабочей памяти (ОКРП), которая у шимпанзе и бонобо  $\leq 3$ , что не позволяет им мыслить рекурсивно. Сопоставляя коэффициент энцефализации и ОКРП Рид выделил 7 уровней технологии изготовления орудий, начиная с первого, вполне доступного низшим обезьянам, при котором для изготовления палки достаточно обломать сучки (ОКРП чуть больше 2), через третий – олдувай (ОКРП чуть больше 3) и шестой – леваллуа (ОКРП  $\approx 6$ ; 700 тыс. л.н.), к седьмому (ОКРП  $\approx 7$ ; 50 тыс. л.н.) [Read, 2008], последние уровни связаны с формированием фонологического контура обработки информации. Генетическая связь языка и наглядно-действенного мышления подтверждается исключительной ролью глагола в предикативной синтагматике.

**Второй репликатор.** Процесс цефализации привел к усложнению поведенческого репертуара животных, но если вначале поведение определялось набором спинальных безусловных рефлексов с нейрогормональной регуляцией, то образование ассоциативных зон и неокортекса у высших животных, а также формирование условных рефлексов, сделало их поведение настолько сложным, что оно вышло из-под генетического контроля

и потребовался новый, внегенетический канал передачи информации на базе подражания и обучения. Физиологической основой нового эпигенетического канала трансляции стали зеркальные нейроны, обнаруженные у приматов и некоторых птиц, благодаря которым сформировался второй, этологический репликатор – *мем*, заложивший фундамент культуры и социальных форм существования материи. Культура стала функциональной системой, обеспечивающей сохранность мемов. Высокая скорость «мутаций» мема обеспечила существенно более быстрые темпы культурной эволюции, на 5-6 порядков превышающие скорость биологической эволюции. Преодолев генно-регуляторный и нейро-этологический уровни, обработка информации достигает уровня семиотических структур, распадающегося на три подуровня. Лингвистический подуровень (*L*) становится основой мифологического и религиозного мировоззрения; рационально-логический (*L*, *Λ*) – философского, а математический (*L*, *Λ*, *M*) – научного. Интерсубъективные семиотические системы стали прообразами и статичного идеального мира Платона, и эволюционирующего третьего мира К. Поппера.

История сохранила огромное количество соперничающих концепций, авторы которых, исходя из разнообразных посылок, пытались разработать теории возникновения и эволюции социальных систем, государств и цивилизаций: этнологический, антропологический, формационный и социологический подходы, функционализм, экстернализм и интернализм, технологический детерминизм, клиодинамика и мир-системный анализ. Существенно меньшее количество теорий посвящено возникновению мифологии, философии и науки. Скомбинируем формационный подход, технологический подход Р.Н. Адамса, концепцию мифогенеза А.Ф. Лосева, гипотезу возникновения философии А.Н. Чанышева и авторскую гипотезу появления и эволюции науки. В результате получим следующую схему.

Долгое время социальная эволюция *Homo sapiens* сдерживалась небольшим числом (5-80) членов родовой общины, живущей собирательством и охотой. Так как «... понимание заключается в сведении одного типа реальности к другому» (К. Леви-Стросс), то в те времена единственным возможным способом объяснения природы и мира было перенесение на них наиболее понятных кровно-родственных отношений, в результате чего и природа, и весь мир предстали в виде универсальной общинно-родовой формации, а это и есть мифологическое мировоззрение [Лосев, 1989]. Неолитическая революция позволила увеличить плотность населения, и племя смогло объединить уже сотни человек, положив начало профессиональной специализации и имущественной дифференциации, развитию мифологических и религиозных представлений, а вождества смогли аккумулировать коллективную энергию уже около 1000 человек. Эпоха бронзы породила

города-государства с числом жителей порядка 10 тыс. человек, а затем и государства с численностью населения 50 тыс. и более. Важнейшим изобретением этого времени стала письменность. На базе грамматики возникла логика, которая стала основанием философии. Железный век стал свидетелем появления империй и рождения философии в Китае, Индии и древней Греции. Согласно гипотезе А.Н. Чанышева, философия, как антипод мифологии, возникла в железном веке с появлением денежного обращения и образования зажиточного городского торгово-ремесленного сословия, которому для обоснования претензий на власть потребовалось новое мировоззрение и идеология [Чанышев, 2001]. Согласно нашей концепции, ответом стало рождение науки в античной Греции, чему способствовало уникальное сочетание внешних и внутренних факторов [Бурундуков и др., 2016]. На развалинах античного мира сформировался новый феодальный мир, в котором вера потеснила знания, но на его закате в эпоху Ренессанса возродился интерес к рациональному осмыслению мира, ставший провозвестником рождения экспериментальной науки. Буржуазные революции утвердили капитализм, породили индустриализацию экономики и институционализацию науки.

**Третий репликатор и искусственная жизнь.** Термин «искусственная жизнь» (*alife*) можно понимать, по крайней мере, в трех смыслах. В материальном мире (*in re*) это 1) биохимическая «аналоговая» жизнь на основе искусственного репликатора – синтезированного *in vitro* в лабораторных условиях ДНК (*Mycoplasma laboratorium* – проект искусственной жизни, Синтия В. Крейга); 2) кремниевая цифровая жизнь саморазмножающихся автоматов фон Неймана в результате развития робототехники и боидов с использованием алгоритмов роевого и коллективного интеллекта. В виртуальном мире (*in silico*) это 3) виртуальная цифровая жизнь на основе искусственной химии (OpenWorm — международный проект по созданию компьютерной модели червя *Caenorhabditis elegans* на клеточном уровне). По мнению авторов, единственным достойным кандидатом на роль третьего репликатора является *нем* (производное от фамилии Дж. фон Неймана) и будущее транс- и постгуманистического человечества видится в неразрывном симбиозе био-, антропо- и техносфер.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках АТЭ мы попытались:

1) показать, как эволюция алгоритмов трансформировала сущность материи от пассивности неорганического субстрата на доинформационном этапе через реактивность низших форм жизни на генно-регуляторном уровне, активность и последующую когнитивность на нейро-этологическом к креативности на семиотическом уровне социальной формы существования материи;

2) объяснить наличие разнообразных логик поведения у всех биологических объектов, начиная с простейших: «логика поведения возникла на три-четыре миллиарда лет раньше появления силлогистики и логиков»;

3) обосновать тезис Пифагора-Галилея о математической природе принципов, лежащих в основе мироздания. Явно этот тезис следует из теорем Э. Нётер, неявно – из существования аналоговых компьютеров, т.е. «математика в форме физической геометрии пространства-времени появилась за 14,42 млрд. лет до математиков»;

4) при помощи представлений разрабатываемой теории действий выявить эволюционно-генетические, биологические, социальные, функциональные и логические связи и отношения между материальными и семиотическими (идеальными) системами и концепциями;

5) наметить перспективы синтеза естественнонаучных, гуманитарных и технических наук в процессе финальной панунификации человеческого знания;

6) замкнуть глобальный когнитивный цикл и предложить метатеоретический критерий верификации/фальсификации концепций, гипотез, научных теорий на базе самореференции знания. К сожалению, в конечном счете, мы будем вынуждены на основании соответствия всему самосогласованному корпусу научных знаний принимать па *веру* экспериментально неподтверждаемые утверждения о явлениях и процессах, лежащих за пределами экстремального хронотопа<sup>1</sup>, таких как Big Bang, суперструны, ТоЕ, GUT's, космологическая инфляция и пр.

## ЛИТЕРАТУРА

*Анохин П.К.*, 1968. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М.: Медицина, 547 с.

*Бернштейн Н.А.*, 1990. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Наука, 466 с.

*Бурундуков А.С.*, 2002. Концептуальные структуры знания. Владивосток, ДВГТРУ 465 с.

*Бурундуков А.С.*, 2005. Фундаментальные структуры. Эмпирические системы. Владивосток: Дальнаука, 304 с.

---

<sup>1</sup> Под экстремальным хронотопом (от греч. χρόνος – время и τόπος – место) мы понимаем всю доступную измерениям часть Вселенной заключенную в масштабные пространственно-временные границы  $10^{-27} < r < 1,36 \cdot 10^{26}$  м и  $10^{-36} < t < 10^{17}$  с, или  $10^7 < r < 8,44 \cdot 10^{60} l_p$  и  $10^7 < t < 8,44 \cdot 10^{60} t_p$  в планковских единицах [Бурундуков, 2002, 2005].

*Бурундуков А.С., Дроздов А.Л., Казанский Б.А., 2016. Палеонтологический парадокс – гордиев узел глобального эволюционизма. LAP, Саарбрюккен (Германия), 301 с. ISBN: 978-3-659-87675-2*

*Глезер В.Д., 1993, Зрение и мышление. С-Пб: Наука, 284 с.*

*Кандель Э., 2011. В поисках памяти. М.: CORPUS, 736 с.*

*Колмогоров А.Н., 1965. Три подхода к определению понятия «количество информации», Пробл. передачи информ., т. 1, вып. 1, стр. 3 – 11.*

*Лосев А.Ф., 1989. История античной философии в конспективном изложении. М.: Мысль, 204 с.*

*Николис Дж., 1989. Динамика иерархических систем: Эволюционное представление. М.: Мир, 488 с.*

*Чанышев А.Н., 2001. Философия Древнего мира. М.: Высшая школа, 703 с.*

*Gilbert S.F., Bosch T.C.G., Ledon-Rettig C. 2015. EcoEvoDevo: developmental symbiosis and developmental plasticity as evolutionary agents. Nature Reviews Genetics, 16 (10), p. 611-622.*

*Liu C., Fu X., Liu L., et al. 2011. Sequential establishment of stripe patterns in an expanding cell population // Science. V. 334. P. 238-241*

*Mogenson G.J., 1977. The neurobiology of behavior: an introduction, Erlbaum Associates, Hillsdale, N.J and N.Y. p. 727-738.*

*Peisajovich S.J., Garbarino J.E. Wei P., Lim W.A. 2010. Rapid diversification of cell signaling phenotypes by modular domain recombination // Science, v. 328, p/ 368-372*

*Pigliucci M., Müller G.B., 2010. Evolution – the Extended Synthesis. The MIT Press, 504 pp.*

*Read D.W., 2008. Working Memory: A Cognitive Limit to Non-Human Primate Recursive Thinking Prior to Hominid Evolution // Evolutionary Psychology. V. 6, p. 676-714.*

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ КОФЕЙНОГО ДЕРЕВА (*COFFEA ARABICA*) И ЧАЙНОГО КУСТА (*CAMELLIA SINENSIS*) МЕТОДОМ ЯДЕРНО-МАГНИТНО РЕЗОНАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

К.А. Дроздов<sup>1,2</sup>, А.В. Усольцев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тихоокеанский институт биоорганической химии моря им. Г.Б. Елякова ДВО РАН,;  
690022, г. Владивосток;

<sup>2</sup> Дальневосточный федеральный университет, 690922, г. Владивосток

Водные экстракты зерен кофейного дерева и листьев чая – наиболее распространенные напитки человечества. Они широко и повседневно используются, но нет однозначного ответа, в чем их польза или возможный вред. Кто-то считает полезным только зеленый чай, а черный чай и кофе просто вредными для здоровья. Есть мнения, что полезными и нужными для человека качествами обладает только кофе (Плискина, 2016).

Важным аспектом исследования является изучение водной экстракции растений, т.е. определение тех основных компонентов, которые мы непосредственно употребляем в пищу, а не тех, что в принципе содержатся в этих растениях.

В нашей работе использованы выделенные при температуре 96°C хлороформенные и водные экстракты черного кофе сорта арабика, черного и зеленого цейлонских чаев. Для сравнения была взята хлороформенная экстракция околоплодника маньчжурского ореха. Были получены протонные и углеродные спектры.

Для определения сигналов кофеина в водных растворах был получен протонный ЯМР спектр водного раствора кофеина (Рис.1). Результаты анализа подтвердили наличие кофеина в экстрактах чая и кофе, ожидаемо в экстракте маньчжурского ореха не были обнаружены даже небольшие сигналы кофеина (Рис. 2, 3). Были установлены сигналы от кофеина на COSY спектрах экстрактов (Рис. 4). В хлороформенной экстракции кофе, в отличие от экстрактов чая и маньчжурского ореха, были обнаружены сигналы от триглицеридов, в том числе ненасыщенных (Рис. 2). Поскольку триглицериды находятся именно в семенах, но не в листьях, это и определяет данное различие.



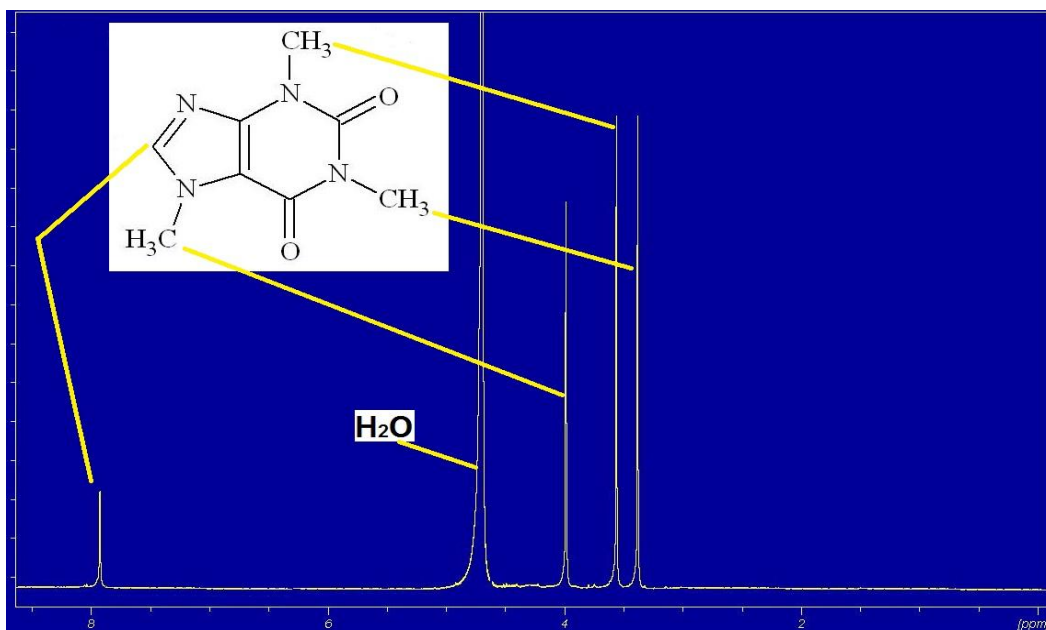


Рисунок 1.  $^1\text{H}$  спектр водного раствора кофеина (ЯМР спектрометр Bruker 300 МГц, Германия).

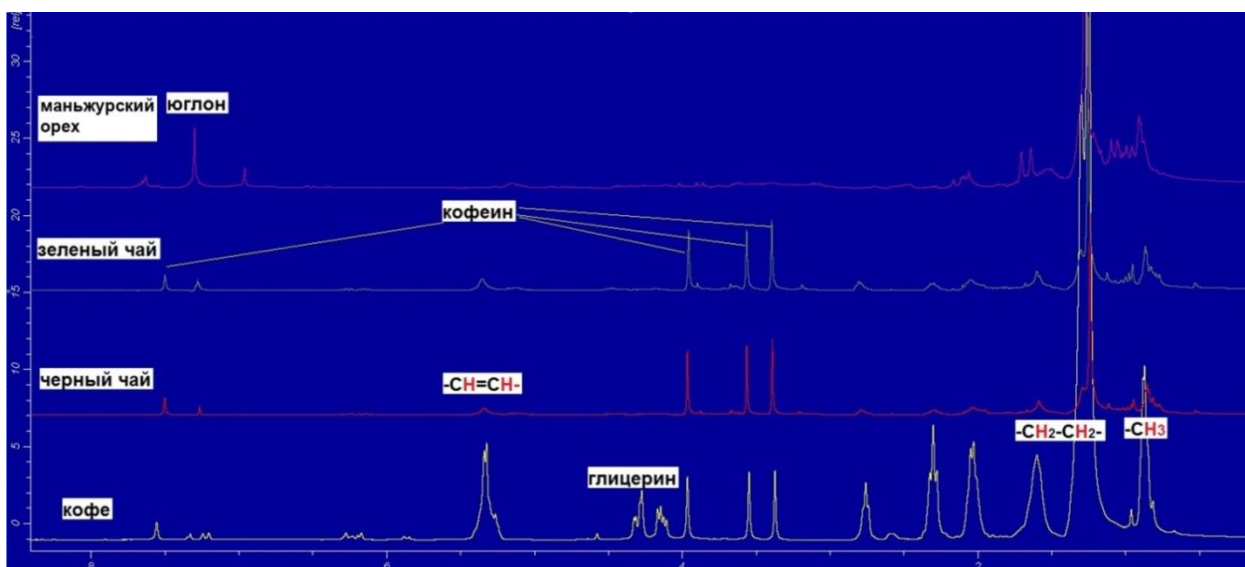


Рисунок 2.  $^1\text{H}$  спектр хлороформенной экстракции черного кофе, зеленого цейлонского чая, черного цейлонского чая и маньжурского ореха (ЯМР спектрометр Bruker 300 МГц, Германия).

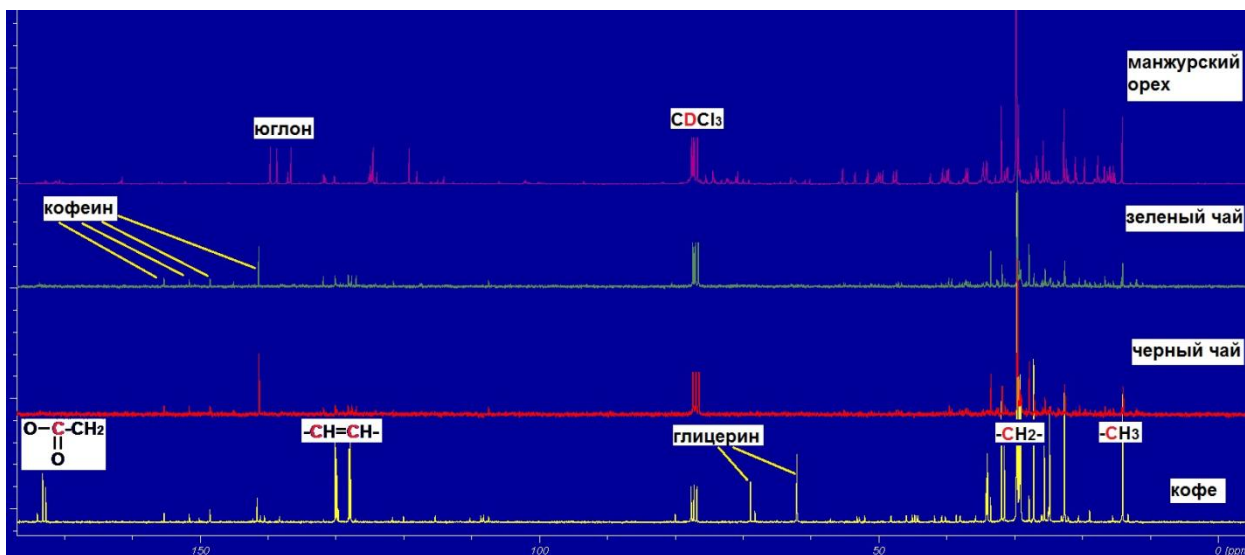


Рисунок 3.  $^{13}\text{C}$  спектр хлороформенной экстракции черного кофе, зеленого цейлонского чая, черного цейлонского чая и маньчжурского ореха. Спектр черного кофе, зеленого и черного цейлонского чая (ЯМР спектрометр Bruker 300 МГц, Германия).

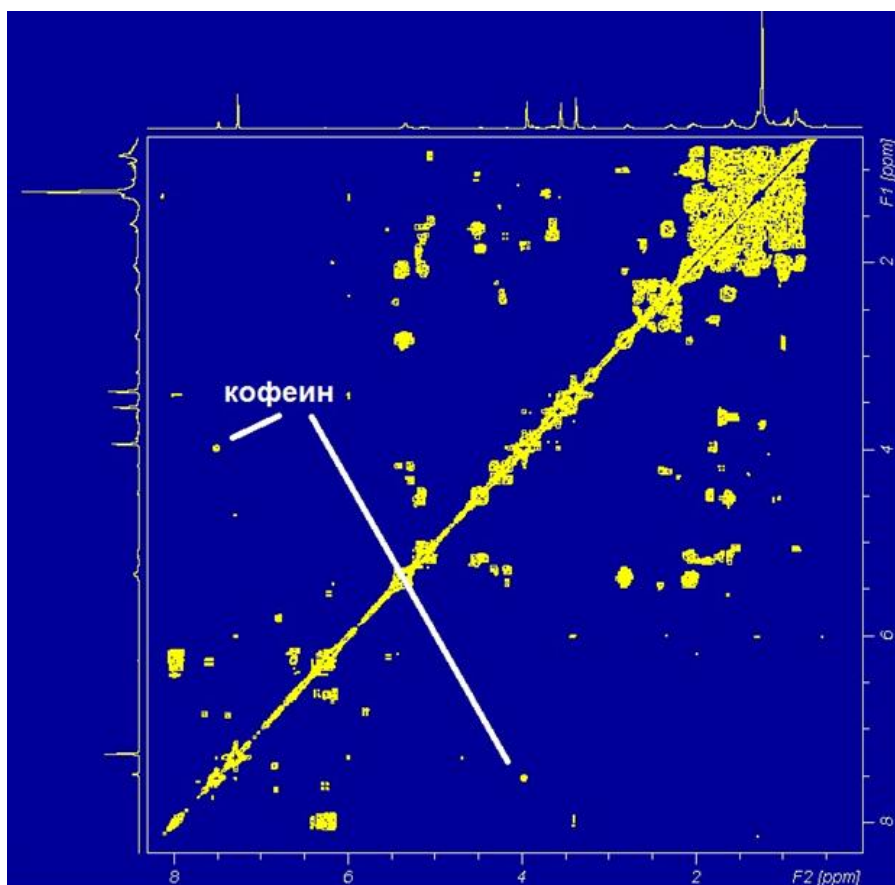


Рисунок 4. COSY спектр водной экстракции зеленого цейлонского чая (ЯМР спектрометр Bruker 300 МГц, Германия).

Результаты наших исследований подтвердили, то что кофеин присутствует в чае и кофе в идентичных состояниях. Исследуемые растения не являются близко родственными, кофейное дерево (*Coffea arabica*) относится к семейству Мареновые (Rubiaceae), а чайный куст (*Camellia sinensis*) относится к семейству Theaceae (Чайные). Родиной кофе считается Африка, а родиной чая – Юго-восточная Азия. Таким образом, идентичные вторичные метаболиты присутствуют в неродственных растениях. Кроме чая и кофе кофеин присутствует е

. Эритроксилловые (Erythroxylaceae), падуб парагвайский сем. падубовые (Aquifoliaceae), гуарана сем. Сапиндовые (Sapindaceae). Родина всех этих растений – Южная Америка, но все они относятся к разным семействам.

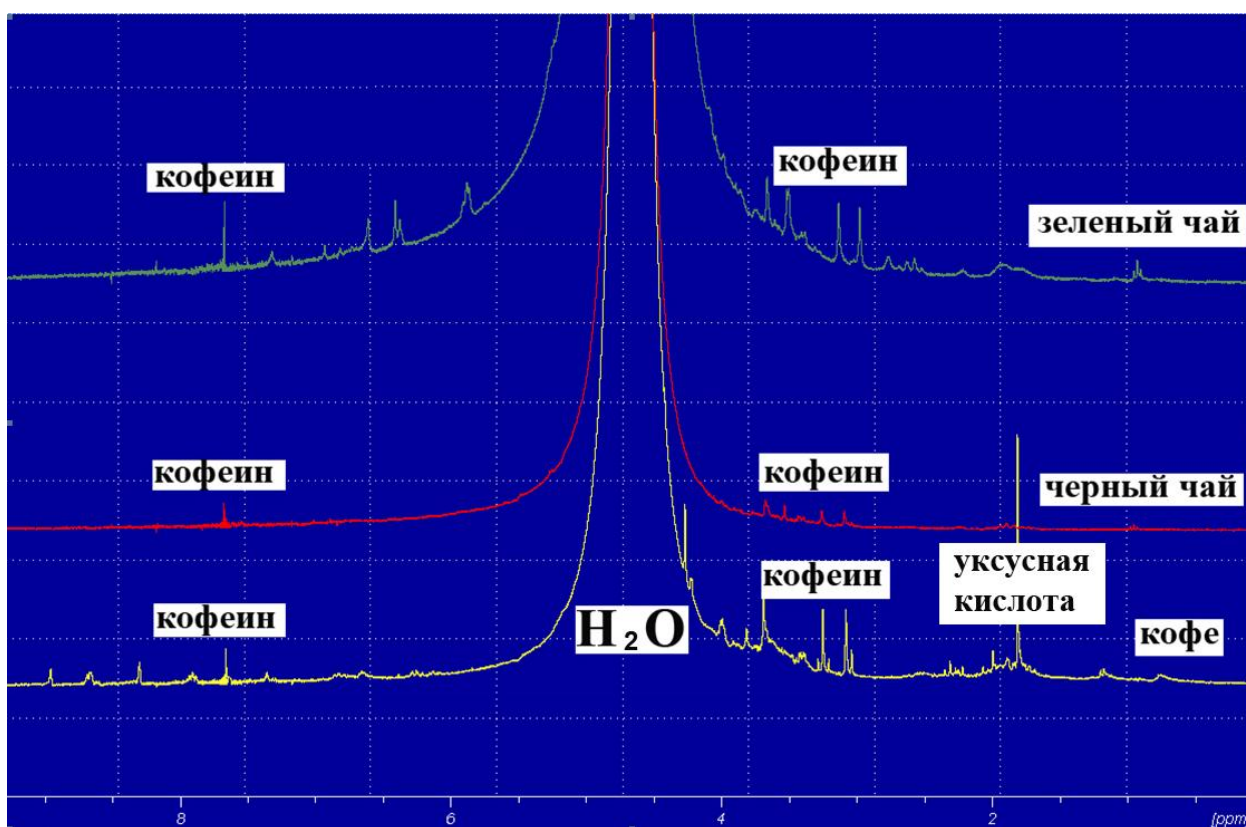


Рисунок 5. 1H спектры водной экстракции черного кофе, зеленого и черного цейлонского чая (ЯМР спектрометр Bruker 300 МГц, Германия).

Объединяет эти шесть растений, содержащих кофеин, то что они произрастают лишь в тропическом и субтропическом ареалах, хотя и на разных континентах.

Кофеин – это токсин (Мелентьева, 1976), полулетальная доза которого в организме человека зависит от индивидуальной чувствительности, и, по оценкам, составляет около 150-200 мг на килограмм массы тела или примерно от 80 до 100 чашек кофе для среднего взрослого. Одна из причин присутствия кофеина в листьях растений – защита от поедания растений насекомыми-вредителями. Таким образом, есть еще одно обстоятельство, общее

для этих растений – насекомые вредители, которые обитают лишь в тропических и субтропических ареалах. Возможно, это один вид вредителей, возможно, это насекомые с схожим метаболизмом на которых кофеин оказывает максимальный токсический эффект. К таким насекомым можно отнести саранчу (Стриганова, Захаров, 2000), активность которой наиболее высока в субтропических и тропических ареалах. Саранча наиболее охотно атакует камыши и тростники, в меньшей степени лен, коноплю и гречиху. Второе насекомое, от которого, возможно, защищаются растения, синтезирующие кофеин – горностаевая моль, которая обитает на всех континентах. Однако ее активность возрастает при высоких температурах, характерных для тропиков и субтропиков (Kaltenbach et al., 1987).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Плискина Ю. Мифоеды. Как перестать питаться заблуждениями на голодный желудок. ISBN 978-5-699-82708-4, Эсмо, 2016, с. 432.
2. Фармацевтическая химия / Г. А. Мелентьева. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Медицина, 1976. Т. II.
3. Стриганова Б.Р., Захаров А.А. Пятиязычный словарь названий животных: Насекомые (латинский-русский-английский-немецкий-французский) / М.: РУССО, 2000. С.28.
4. Thomas Kaltenbach, Peter Victor Küppers: Kleinschmetterlinge. Verlag J. Neudamm-Neudamm, Melsungen 1987, ISBN 3-7888-0510-2.

# РАЗВИТИЕ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ У ТИХООКЕАНСКОЙ УСТРИЦЫ *CRASSOSTREA GIGAS*

В.А. Дячук, О.В. Юрченко

*Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток, Россия,  
slavad83@gmail.com*

Изучение механизмов развития морских беспозвоночных, обитателей Дальневосточных морей было актуальным направлением исследований Института биологии моря и, не потеряло своей актуальности в настоящее время в современных научных направлениях Национального научного центра морской биологии. Фауна двустворчатых моллюсков зал. Петра Великого Японского моря – одна из самых богатых среди прочих дальневосточных морей и насчитывает более 120 видов. Развитие личинок двустворчатых моллюсков происходит в толще воды и завершается оседанием и метаморфозом. Ранее мы описали нейро- и миогенез мидии *Mytilus trossulus* и запатентовали новый подход к ускоренному выращиванию личинок этого вида. Цель данной работы – изучение клеточных механизмов развития нервной системы у личинок устрицы гигантской *Crassostrea gigas*. Полученные данные дают полное представление о механизмах формирования нервной системы личинок устрицы. Используя набор современных методов иммуногистохимической детекции нейронов, наборы антител и конфокальной микроскопии, мы смогли детально описать развития трех нейротрансмиттерных систем – FMRF-, серотониновой (5-HT-) и, впервые, – ацетилхолиновой (ACh-) системы. Важным достижением работы стало заключение о пионерности FMRF системы, которая не только появляется первой и развивается на стадии ранней трохофоры, но и служит шаблоном для дифференцировки и развития нервных элементов другой трансммиттерной природы. Мы показали, что у личинок устрицы первыми появляются сенсорные FMRF-нейроны, а их отростки, прокладывая путь от дорсальной части в вентральном направлении, образуют каркас для будущей нервной системы. Впервые обнаружены ACh-нейроны, которые, используя FMRF-каркас, начинают дифференцироваться вдоль FMRF-отростков. В это же время появляются ACh, FMRF и 5-HT иммунопозитивные нейроны апикального органа. Таким образом, велигер устрицы снабжен сенсорным апикальным органом/церебральным ганглием и pedalным ганглием, состоящими из трех типов нейронов; набором FMRF и ACh-вентральных нейронов и комиссурами, соединяющими pedalные ганглии и вентральные нейроны.

Апикальный орган/церебральный ганглии соединен с педальным ганглием вентральным парным стволом, который представляет собой сплетение отростков всех трех нервных систем. Мы также описали FMRF и 5-HT нейроморфологию педивелигеров – поздних стадии развития личинок устрицы: формирование цереброплевральных, вентральных ганглиев, иннервация внутренних органов, резорбция пионерных сенсорных нейронов. Данная работа важна для понимания механизмов развития нейросенсорных систем с перспективой регуляции процессов раннего развития и метаморфоза.

Работа выполнена при поддержке гранта РФ (№ 14-50-00034), стипендии Президента РФ (СП-2890.2016.4).

# МЕХАНИЗМЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СРОКИ, УСПЕШНОСТЬ И БЛОКИРОВАНИЕ НЕРЕСТА В ПРИРОДНЫХ ПОСЕЛЕНИЯХ МОРСКОГО ЕЖА

П.М. Жадан<sup>1</sup>, М.А. Ващенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток

<sup>2</sup>Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток

e-mail: pzhadan@poi.dvo.ru

Изучая репродуктивный цикл морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* (A. Agassiz, 1863) в природных поселениях вдоль побережья Приморского края (северо-западная часть Японского моря), мы обнаружили, что в разных районах и в разные годы исследований, несмотря на сезонное созревание гонад в конце июля – августе у 100% особей обоих полов, от 20 до 90% животных не завершали репродуктивный цикл нерестом. Невыметанные яйцеклетки и сперматозоиды подвергались резорбции с участием вспомогательных клеток гонады, длительность очистительных процессов в гонаде составляла около 7 мес. Мы предположили, что причиной этого феномена является отсутствие природного сигнала/сигналов, необходимых для запуска нереста в поселениях *S. intermedius*. Для проверки этой гипотезы разработан комплексный методологический подход, который включает видеорегистрацию с интервалом в 1 мин нерестового поведения морских ежей и измерение с интервалом в 10 мин параметров среды (уровень прилива, температура, соленость и концентрации хлорофилла *a* и растворенного кислорода) непосредственно в месте обитания животных, а также анализ состояния гонад (при частоте отбора морских ежей 1 раз в 3–7 сут). Исследования проводили в двух районах северо-западной части Японского моря: б. Киевка (42.830 с.ш., 133.691° в.д.) и б. Алексеева (42.981° с.ш., 131.730° в.д.). Два эксперимента были осуществлены в б. Киевка в августе–сентябре 2014 и 2015 гг. и один – в б. Алексеева в мае–июне 2016 г. Время проведения экспериментов совпадало с нерестовыми сезонами *S. intermedius* в этих районах.

Корреляционный анализ не выявил достоверной зависимости между долей морских ежей, нерестящихся в течение каждого часа наблюдений, и усредненными значениями температуры, солености воды и концентрации кислорода за этот час. При этом обнаружена достоверная положительная корреляция между долей нерестящихся животных и концентрацией хлорофилла *a*. Таким образом, получено прямое доказательство того, что фитопланктон является ключевым фактором в запуске нереста *S.*

*intermedius*. Выявлено также влияние циркадного и лунного ритмов на нерестовую активность морских ежей: наибольшая доля нерестящихся животных зарегистрирована в ночное время и в фазе новолуния. В целом иерархия абиотических и биотических факторов, влияющих на нерест *S. intermedius*, выглядит следующим образом: повышение концентрации фитопланктона стимулирует нерест самцов; сперма самцов в сочетании с фитопланктоном инициирует нерест самок; время суток и фазы лунного цикла оказывают модулирующее влияние на нерестовую активность морских ежей.



# ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ В АТМОСФЕРЕ

В.В. Земнухов

*Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток*

*e-mail: zemnikhov1@yandex.ru*

Проблема происхождения жизни сравнительно молода – ей еще не исполнилось и сотни лет. Большую часть времени от Эмпедокла (V век до н.э.) до Аррениуса (XX н.э.) в отношении происхождения жизни абсолютно доминировали креационистские взгляды.

По сути, настоящая история изучения проблемы начинается с публикации в 1924 году работы А.И. Опарина – небольшой брошюры, в которой высказывалась, однако, потрясающая идея. Впервые за всю историю человечества было предположено, что возникновение жизни на Земле (величайшая загадка за всю историю всех времен и народов) может быть объяснено простыми и вполне естественными причинами. В насыщенных растворах аминокислот сами по себе возникают какие-то сгустки (коацерваты), причем при определенных изменениях в окружающей их среде они увеличиваются в размерах и даже «размножаются» – и, может быть, именно так и возникла жизнь на Земле?

Проще говоря, это был самый грандиозный сдвиг в понимании этой проблемы человечеством. Следующее открытие, значительно приблизившее человечество к пониманию проблемы, произошло в 1953 году – знаменитый эксперимент Миллера-Юри. Показательно то, что даже самая первая попытка моделирования первичной атмосферы Земли дала поразительные результаты: и аминокислоты, и нуклеотиды просто и легко образуются в кипящей смеси воды, метана, аммиака и водорода, через которую пропускают электрические разряды. В достаточно сжатые сроки во множестве экспериментов было показано, что все биологически важные молекулы, от аминокислот и нуклеотидов до фосфолипидов и АТФ могут и должны были образовываться в горячей атмосфере зарождающейся Земли. Однако довольно быстро выяснилось, что:

Находясь вне белков или полипептидов, аминокислоты довольно быстро деградируют (изменяются), причем скорость их деградации достаточно велика даже при относительно низких температурах.

Аминокислоты возникают при температуре кипения воды или выше, а полипептидные (протобелковые) соединения образуются при гораздо более низкой температуре.

Получаемые абиогенным путем аминокислоты и нуклеотиды представляют собой смесь зеркальных изомеров, в то время как в живых системах в составе белков, ДНК и РНК наличествуют только L-аминокислоты и D-сахара (хиральная асимметрия живых систем).

Обстоятельная критика химических теорий зарождения жизни была опубликована в 1983 году румынскими учеными К. Симионеску и Ф. Денешем, после чего и появилась концепция Мира РНК, являющаяся крайним выражением редукционистского подхода в исследовании вопросов происхождения жизни. В противовес этому методу, пытающемуся воссоздать целое из единственной, хотя и самой важной, детали, сторонники системного подхода для понимания процессов усложнения системы предлагают упрощать её. Так, например, Г.А. Заварзин (2004) выделял в прокариотной клетке 4 основных компонента: мембрану, изолирующую клетку от окружающей среды, наследственный материал в виде ДНК, рибосому (аппарат для синтеза белка) и цитоплазму, т. е. внутреннюю клеточную среду, где протекают все процессы метаболизма. Упрощая эту схему далее, мы получим двухкомпонентную систему, состоящую из поверхностного слоя и внутренней среды, т.е. каплю воды. И, разумеется, капля воды обладает свойствами капли воды, только когда находится в атмосфере.

Руководствуясь этими соображениями, особое внимание следует обратить на свойства поверхностного слоя воды, что и было сделано отечественными учеными. Экспериментально доказано, что в неравновесных условиях поверхностный микрослой воды обогащается L-аминокислотами (Твердислов и др., 2007; Яковенко и др., 2007), что позволяет снять вопрос о возникновении хиральной асимметрии в живых организмах.

Таким образом, предлагаемая модель возникновения жизни в атмосфере сводится к следующим основным моментам:

Протобионтами являлись частицы водного аэрозоля размерами 0.5–5 мкм, парящие в атмосфере древней горячей Земли.

На поверхности этих частиц сорбировались фосфолипиды и другие амфифильные молекулы, предохраняющие их от высыхания и слипания с другими частицами.

На поверхности этих частиц сорбировались также и аминокислоты (с преобладанием L-энантиомеров).

Циркуляцией атмосферы древней Земли эти частицы периодически выносились в верхние, охлажденные слои, в которых происходило образование полипептидов, часть которых должна была обладать ферментными свойствами.

Катализируя происходящие во внешней среде реакции, полипептиды с ферментными свойствами осуществляли, по сути, «закачку» энергии внутрь полужакрытых систем.

Эта энергия, поступающая во внутреннюю среду протобионтов, расходовалась самыми разными способами, но часть ее, несомненно, должна была быть потрачена на процессы, приводящие к возникновению полинуклеотидов.

Реализация этой модели уже позволяет говорить о таком факторе эволюции, как отбор, и, хотя бы только на этом основании, заслуживает внимательного рассмотрения.

Предлагаемая гипотеза может получить подтверждение при исследованиях Венеры. В атмосфере Венеры есть признаки жизни. Между тем, какие-либо факты, свидетельствующие о том, что на поверхности Венеры когда-либо была жидкая вода, отсутствуют. Следовательно, жизнь на Венере должна сохранить черты, присущие самому раннему (атмосферному) периоду эволюции.

Таким образом, гипотеза может быть подтверждена при обнаружении в верхних слоях атмосферы Венеры аэриобионтов, которые, в отличие от земных бактерий, обнаруживаемых в атмосфере, будут обитать не в парящих каплях воды, а в воздухе. И, соответственно, плазматическая мембрана венерианских аэриобионтов должна будет иметь строение, более близкое к монослойной липидной мембране, внешняя поверхность которой обладает гидрофобными свойствами, чем к бислойной мембране большинства живых клеток.

В случае обнаружения таких форм жизни в атмосфере Венеры можно будет считать доказанным, что жизнь произошла не в океане, а вместе с океаном, зародившись на самых ранних стадиях формирования планеты, когда ее атмосфера, гидросфера и литосфера еще представляли собой единое целое.

# ЭВОЛЮЦИОННАЯ СТРАТЕГИЯ METAZOA

В.В. Исаева

*Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток, Россия;*

*Институт проблем экологии и эволюции РАН, Москва*

*vv\_isaeva@mail.ru*

Концепция репродуктивной стратегии (MacArthur, Wilson, 1967), разработанная на основе исследований динамики роста популяций, рассматривает два альтернативных типа естественного отбора, направленного либо на повышение скорости роста малочисленной популяции, либо на возрастание конкурентоспособности и выживаемости особей при высокой плотности популяции. В ходе дальнейших исследований репродуктивной стратегии была расширена ее связь с эволюционной биологией и биологией развития. Концепция репродуктивной стратегии стала включать анализ таких эволюционно значимых, связанных с размножением и развитием адаптивных признаков, как размер животного, возраст наступления половой зрелости, плодовитость, родительский вклад в потомство (Pianka 1970; Ricklefs, 1973; Wilbur et al., 1974; Gould, 1977; Касьянов, 1989; Касьянов и др., 1997; Kasyanov, 2001; Reznick et al., 2002; Gunbin et al., 2011; Minelli 2012). В интерпретации В.Л. Касьянова (1989, 1997, 2001) представление о репродуктивной стратегии вышло за рамки анализа микроэволюционных изменений, обусловленных особенностями динамики популяций. Репродуктивная стратегия представлена В.Л. Касьяновым как комплекс адаптивных признаков и черт биологии размножения и развития, который затрагивает все уровни организации от молекулярного и субклеточного до видового и биоценотического. Переход от развития с планктотрофной личинкой к лецитотрофии и эмбрионизации у морских беспозвоночных связан с гетерохрониями, гетеротопиями и аллометрическим ростом (Kasyanov, 2001). Это язык эволюционной биологии развития, исследующей эволюционные преобразования онтогенеза. Гетерохрония – классический механизм эволюционных изменений последовательности процессов развития, их скорости и сроков проявления анцестральных признаков. Наиболее часто рассматриваемый тип гетерохронии – педоморфоз, представленный неотенией и прогенезом (De Beer, 1958; Gould, 1977; Raff, Sly, 2000; McNamara, 2002; Isaeva, 2014). Введено также представление о пераморфозе как возрастании скорости изменения или их периода до такой степени, что взрослая форма потомка морфологически выходит «за пределы» анцестрального состояния (McNamara, 1986, 2002). Анализ эволюционных траекторий развития в контексте концепции репродуктивной стратегии

В.Л. Касьянова позволяет выявить различную направленность преобразований в разных таксономических группах животных как различие их макроэволюционной стратегии. Эволюционные приобретения и потери весьма контрастно выражены у представителей *Deuterostomia* и *Ecdysozoa* (Исаева, 2014, 2015; Isaeva, 2016).

Современная сравнительная геномика дала возможность исследования генетических коррелятов морфологического разнообразия и сложности организации различных представителей *Eukaryota*. Найдена значимая корреляция регуляторной сложности генома (определяемой общим числом транскрипционных факторов и других регуляторов транскрипции) и морфологической сложности (измеряемой числом клеточных типов), у представителей эукариотических организмов, с резким возрастанием числа транскрипционных факторов у *Metazoa* и наземных многоклеточных растений в результате дупликаций всего генома. Предполагается, что экспансия генных регуляторных сетей, включающих транскрипционные факторы, была источником эволюционных инноваций с приобретением новых типов клеток и возрастанием морфологической сложности (обзоры: de Mendoza, 2015; Lang, Rensing, 2015; Srivastava, 2015; Harrison, 2017).

Сравнительный анализ геномов *Metazoa* позволяет выводить их анцестральные характеристики. Показано, что кишечнополостные и позвоночные сохранили больше анцестральных черт, чем *Ecdysozoa* (Sebé-Pedrós, de Mendoza, 2015; Technau, 2015). Гены *Hox*-кластера, играющие центральную роль в детерминации переднезадней оси и всего комплекса основных черт плана строения тела *Bilateria*, ограничены животным царством. *Hox*-гены, как и родственные им гены *PanHox* и *NK*, принадлежат к классу ANTP гомеобокс-содержащих генов, кодирующих транскрипционные факторы. В эволюции *Metazoa* число *Hox*-генов увеличивается от малого набора до высоко диверсифицированного инструментария в результате дупликаций анцестрального кластера, всего генома и отдельных генов *Hox*-кластера. Детерминация переднезадней оси тела *Bilateria* обусловлена пространственной и временной последовательностью, колинеарностью экспрессии *Hox*-генов в кластере. Явление колинеарности *Hox*-генов – пример картирования пространственного порядка расположения генов в пространственно-временной порядок их экспрессии и осевой паттерн организма. Умножение числа кластеров, с одной стороны, либо дезорганизация *Hox*-кластера и потеря части *Hox*-генов, с другой стороны, определяют различие макроэволюционных траекторий (Srivastava, 2015).

В эволюционной линии хордовых-позвоночных выявлена удивительная консервативность генома с наследованием большинства предковых генов, сохранением

целостности *Нох*-кластеров и консерватизма их функций. Эволюционный успех позвоночных в существенной мере обеспечен умножением числа *Нох*-кластеров в результате двух (у костистых рыб – трех) раундов дубликации всего генома и совершенствованием системы генетического контроля. Последовательные дубликации комплекса *Нох*-генов дали возможность выполнения этими генами новых функций, связанных с крупными инновациями строения тела позвоночных. (Обзоры: García-Fernández, 2005; Duboule, 2007; Putnam et al., 2008; David, Mooi, 2014; Holland 2015; Zandvakili, Gebelein 2016; Harrison, 2017).

Сопоставление организации *Нох*-кластеров и паттерна экспрессии *Нох*-генов с морфологией развивающегося организма дает возможность проследить возникновение макроэволюционных изменений морфогенеза и плана строения у *Deuterostomia* (David, Mooi, 2014). Ароморфное эволюционное восхождение в линии хордовых-позвоночных контрастирует с морфофункциональными преобразованиями по типу идиоадаптаций (по Северцову), ярко выраженных в пределах *Deuterostomia* у иглокожих, а среди *Chordata* – у оболочников (*Tunicata*, или *Urochordata*). У представителей оболочников найдены радикальные изменения системы *Нох*-генов с утратой анцестральной организации кластера *Нох*-генов и их функций, что отражается в существенно модифицированной морфологии взрослых оболочников (David, Mooi, 2014; Stolfi, Brown, 2015). У исследованных представителей *Ecdysozoa* (включая такие модельные объекты, как *Caenorhabditis elegans* и *Drosophila melanogaster*) в той или иной мере также утрачена анцестральная организация кластера *Нох*-генов и их функций, что особенно выражено у нематод (Aboobaker, Blaxter, 2003; Кулакова и др., 2014; Minelli, 2015; Sommer, 2015). По сравнению с хордовыми (Putnam et al., 2007) и книдариями (Technau et al., 2015) *C. elegans* и *D. melanogaster* потеряли много предковых генов и не сохранили исходного порядка расположения генных последовательностей в хромосомах.

В развитии животных с дезинтегрированным или расщепленным *Нох*-кластером не проявляется временная коллинеарность. У представителей *Ecdysozoa*, как и у оболочников, эволюционировал вторичный способ быстрого эмбриогенеза с малым числом клеток и детерминированным, мозаичным развитием, производным по отношению к анцестральному. Постулирована связь между поддержанием целостного кластера и временной коллинеарностью, т.е. корреляция между скоростью эмбриогенеза, возможностью проявления временной коллинеарности и целостностью кластера. (Обзоры: Ferrier, Holland 2002; Ferrier, Minguillón, 2003; Seo et al., 2004; Ikuta, Saiga, 2005; Erwin 2006; Monteiro, Ferrier, 2006; Tschopp, Duboule, 2011).

Коррелятивная связь целостности Нох-кластера с временной коллинеарностью и гетерохронией скорости эмбриогенеза впервые постулирована Дюбюлем (Duboule, 1994). Вероятно, альтернативные эволюционные траектории билатеральных животных различных таксонов определяются узлом корреляций, включающих генный регулятивный контроль и гетерохронии развития, от которых зависят клеточные ресурсы роста, тип развития, длительность жизни, размер тела и мозга, забота о потомстве (Исаева, 2015; Isaeva, 2015, 2016). В эволюционной линии хордовых-позвоночных наиболее выражен вклад неотении в сочетании с пераморфозом, включая увеличение ресурсов эмбриональных и стволовых клеток (эмбриоморфоз). Неотения коррелирует с отбором на выживаемость индивидов, заботой о потомстве с высокими затратами материала и энергии на каждого потомка, увеличением размера тела, появлением новых клеточных ресурсов развития, удлинением периода роста и пластичностью морфогенеза, что способствовало расширению эволюционных возможностей и ароморфным преобразованиям, наиболее выраженным в эволюции позвоночных. Альтернативная эволюционная стратегия проявилась у организмов с быстрым половым созреванием, малыми размерами организма, жестко детерминированным развитием и малоклеточностью, высокой плодовитостью, коротким жизненным циклом и высокой смертностью, например, нематод среди Ecdysozoa и некоторых оболочников среди Chordata. Предполагается, у таких животных доминировал прогенез, что обеспечивало быстрый рост популяции и освоение новых экологических ниш, но эволюционные изменения происходили по типу идиоадаптаций и частичной регрессии. В эволюции представителей хордовых педоморфоз играл важную роль в возникновении оболочников; аппендикулярии, обладающие высокой скоростью развития и отсутствием метаморфоза, вероятно, возникли из личинки предковых форм путем отбрасывания взрослой стадии, т.е. путем прогенеза (Рупперт и др., 2008).

Особенности морфофункциональной организации, развития и репродуктивной стратегии позвоночных, с одной стороны, и нематод, а также некоторых оболочников, с другой стороны, дают ясно выраженные, почти предельные примеры альтернативных эволюционных тенденций с преобладанием соответственно неотении в сочетании с пераморфозом либо прогенеза (Исаева, 2015; Озернюк, Исаева, 2016; Isaeva, 2016). Таким образом, анализ преобразований развития в контексте концепции В.Л. Касьянова позволяет понять различную направленность эволюционных траекторий в разных таксономических группах животных.

# ПИТАНИЕ РАСТВОРЁННОЙ ОРГАНИКОЙ КАК ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫЖИВАНИЯ ЩЕТИНКОЧЕЛЮСТНЫХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ МОРСКОЙ СРЕДЫ

А.П. Касаткина<sup>1</sup>, М.В. Столярова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток,  
Россия, e-mail: apkas@mail.ru*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет,  
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: mvstolyarova@yandex.ru*

Chaetognatha (щетинкочелюстные, хетогната, сагитты, морские стрелки) – небольшой по числу видов тип, насчитывающий немногим более 240 видов. Эти исключительно морские свободноживущие планктонные животные плохо переносят опреснение, лишь немногие виды приспособились к пониженной солености (до 8 ‰). Несмотря на относительно малое видовое разнообразие, щетинкочелюстные относятся к массовым, постоянным и характерным представителям планктона. Хетогната – удлинённые подвижные животные, размеры половозрелых особей колеблются от 5 до 120 мм в зависимости от вида. Основная масса обитает в планктоне от прибрежного мелководья до открытых вод, от поверхности до абиссали всех океанов и морей. Планкто-бентических, придонных, видов очень мало. Вертикальные миграции отдельных видов достигают более 1200 м (Pierrot-Bolts, Nair, 1991). Иногда, особенно в период своего размножения, они образуют большие скопления до 300 мг/м<sup>3</sup> (Косихина, Малахов, 1991). Тело планктонных видов торпедообразное, обтекаемое, что позволяет им делать довольно длинные скачки, в 5–6 раз превышающие длину тела (Kuhl, 1938). Обтекаемая форма тела более удобна и для совершения резкого броска при нападении на добычу. Исключение составляют немногие придонные обитатели (виды родов *Spadella*, *Aberrospadella*, *Bathyspadella*), у которых форма головы близка к прямоугольной. При плавании все выступающие части головы – зубчики и щетинки – закрываются специальной кожной складкой (капором, или капюшоном) за счет чего создается обтекаемость головы. При захвате добычи капюшон мгновенно откидывается.

Мощное зубное вооружение из хитиноподобного вещества имеет на своих концах кремнёвые наконечники (Дроздов, результаты анализа 2017 г.). Мускулистая глотка способна к растяжению. Способность глотки и туловища заметно растягиваться позволяет щетинкочелюстным заглатывать добычу, которая во много раз крупнее их собственного тела. Крупные виды хетогнат захватывают личинок сельди, декапод, амфипод и молодых



щетинкочелюстных, что особенно часто наблюдается в периоды появления молоди. Крупное животное, которое сагитта не может сразу уместить в кишке, переваривается постепенно: часть добычи еще торчит из глотки, а передняя половина жертвы уже переварена и её останки выводятся из анального отверстия. Пищевая активность молодых особей на 2-й стадии зрелости настолько велика, что наблюдались случаи, когда они заглатывали свой собственный хвост. Однако основную пищу взрослых щетинкочелюстных составляют копеподы (Миронов, 1960; Nagasawa, Marumo, 1972; Sameoto, 1973). Различаясь в зависимости от стадии половой зрелости хетогнат, способ питания не зависит от систематической принадлежности вида. В результате нашего исследования питания взрослых щетинкочелюстных 2-й – 4-й стадий половой зрелости у видов *Sagitta kussakini*, *S. glacialis*, *Parasagitta elegans*, *P. septicoela* и *P. brevicauda*, *P. liturata*, *P. maculate* выявлено, что основной рацион этих видов составляют копеподы, около 1–2 % – мальки рыб, т.е. все выше перечисленные виды являются хищниками. Но молодь даже несомненно хищных видов на первой стадии половой зрелости усиленно питается фитопланктоном. Как показали опыты Пирра (Pearre, 1973), питание эпипланктонных щетинкочелюстных зависит от освещенности: обилие света угнетает питание. Возможно, отчасти с этой особенностью связаны суточные вертикальные миграции морских стрелок.

Общепринятое представление обо всех представителях стрелок как о несомненных хищниках не соответствует действительности. Наши наблюдения показали, что многие батипелагические виды хетогнат – детритофаги (Касаткина, 1998, 2002, 2003); молодые особи *Sagittidae* на нулевой стадии развития, то есть на 4-й – 5-й день после вылупления из яйца, питаются исключительно фитопланктоном. Перед откладкой яиц, на пятой стадии половой зрелости, и в момент икротетания щетинкочелюстные совсем прекращают питаться. Молодые животные на 0-й и 1-й стадиях полового созревания, с неразвитым хитиновым ловчим аппаратом, питаются в основном диатомовыми водорослями и тинтинами.

В многообразном населении водной толщи океана, связанном между собой сложными трофическими взаимоотношениями, стрелки занимают важное место, т.к. сами хетогнаты – объект питания для планктонных обитателей. Их поедают медузы, тифлосколексы и даже копеподы! Мы обнаружили, что *Calanus cristatus* вспарывая боковую стенку *Parasagitta elegans*, проникают в тело хетогнаты, выедают кишечник, а также запасы жира, хранящиеся в полости тела, в стенках кишечника, и поселяются внутри, оставляя не тронутыми только мышцы тела, голову и плавники. Однако при этом,

не имея возможности охотиться и питаться своей традиционной добычей, сагитта продолжает жить.

Проведены исследования щетинкочелюстных, подвергавшихся действию радиации (получены из бухты Чажма, имевшей радиоактивное загрязнение), и перенесших геофизическое воздействие (взяты из Берингова моря и бухты вулкана Ушишир, характеризующихся высокой геофизической активностью). В ходе изучения влияния радиации на хетогнат выявлены характерные морфологические изменения: у животных разрушается кишечник, голова становится “лысой”, т.к. зубное вооружение отпадает. Животные теряют способность к захвату добычи, кишечник не способен переваривать пищу. Но такие особи продолжают жить (Касаткина, Сергеев, 2001, 2004). Ранее на спаделлах показано, что после отсечения головы они продолжают жить в аквариуме более месяца (Ghirardelli, 1968).

Интересны наблюдения за щетинкочелюстными из геофизически активных регионов (например, из Алеутской впадины, восточной части о-ва Сахалин, бухты Кратерной). Спонтанное отделение головы от тела в таких регионах не приводит к гибели особей. Они не только продолжают жить, но даже размножаются. Определенные характерные аномалии стрелок являются показателями изменений геофизической активности (Касаткина, 1995, 2007; Kassatkina et al., 2001).

Пирс (Pierce, 1951) наблюдал регенерацию головы у хетогнат, оставшихся без головы. Продолжают своё существование даже отвалившиеся от тела головы: попытка дотронуться до неё пинцетом вызвала хватательные движения щетинок. Щетинкочелюстные – единственные в планктоне морей организмы, которые при указанных повреждающих воздействиях сохраняют жизнеспособность, тогда как другие животные погибают.

Как могут осуществляться жизненные функции животных, лишённых не только органов захвата пищи, но даже самой головы? Ответ на этот вопрос дают работы Ю.И. Сорокина и Д.И. Вышкварцева. Щетинкочелюстные могут питаться растворенными в воде органическими веществами, благодаря способности поглощать растворенные вещества через поверхность тела (Sorokin, Wyskwarzev, 1973). По данным электронной микроскопии, у поверхностных клеток кожного эпителия щетинкочелюстных имеются короткие микроворсинки. Необычайную жизнеспособность представителей щетинкочелюстных по-видимому, обуславливают эти особенности строения, а также уникальная простота организации щетинкочелюстных, все тело которых состоит из эпителиев – кожного, кишечного и целомического, нервная система расположена

преимущественно интраэпителиально, стенка гонад и элементы мышечной ткани являются производными целомического эпителия (Столярова, Касаткина, 2007, 2009).

Экологи могут использовать хетогнат в качестве биоиндикаторов для оценки состояния морской среды – природных флуктуаций и антропогенного влияния. Морфологические характеристики здоровых особей необходимы для определения наличия и распространения радиации в морской среде, так как радиационное поражение стрелок имеет характерные морфологические отклонения от нормы (Касаткина, Сергеев, 2004; Касаткина, Сергеев, Столярова, 2008).

Щетинкочелюстные – единственные в планктоне морей организмы, которые при указанных повреждающих воздействиях сохраняют жизнеспособность, тогда как другие животные погибают.

#### ЛИТЕРАТУРА

Касаткина А.П. Массовые аномалии в планктоне окраинных морей и сопредельных вод Тихого океана // ДАН. 1995. Т. 345, N 6. С.845-847.

Касаткина А.П. Морфологические аномалии хетогната в планктоне дальневосточных морей, как биоиндикаторы антропогенного загрязнения и естественных флуктуаций. В монографии: «Дальневосточные моря России». Книга 2. 2007. С. 553-558.

Касаткина А.П. Новый род *Pseudeukrohnia* из семейства *Eukrohniidae* (*Chaetognatha*)//Биол. моря. 1998. Т. 24. N 6. С. 359-363.

Касаткина А.П. Новые виды морских стрелок (*Pseudoeukrohnia*, *Chaetognatha*) из западной части Берингова моря и северо-западной части Тихого океана // Биол. моря. 2002. Т. 28. № 2. С. 77-86.

Касаткина А.П. Новые роды и виды морских стрелок из отряда фрагмофор (*Phragmophora*, *Chaetognatha*) // Биол. моря. 2003. Т. 29. № 1. С. 13-22.

Касаткина А.П. Морфологические аномалии хетогната в планктоне дальневосточных морей, как биоиндикаторы антропогенного загрязнения и естественных флуктуаций // Дальневосточные моря России. Книга 2. 2007. С. 553-558.

Касаткина А.П., Сергеев А.Ф. Морфологические отклонения у морских стрелок (*Chaetognatha*) в планктонной экосистеме бухты Чажма (Японское море) в зоне радиоактивного загрязнения. «V ДВ конф. по заповедному делу». Владивосток: Дальнаука. 2001. С. 253-255.

Касаткина А.П., Сергеев А.Ф. Новые виды морских стрелок (*Chaetognatha*) из бухты Чажма залива Петра Великого (Японское море) // Биол. моря. 2004. Т. 30. № 6. С. 440-446.

Касаткина А.П., Сергеев А.Ф., Столярова М.В. Влияние антропогенных факторов (радиоактивного загрязнения) и естественной флуктуации морской среды на ткани морских стрелок (*Chaetognatha*) // Сборн. научных Трудов «Проблемы и перспективы современной науки», Томск. 2008. Вып. 1. С. 27-28.

Косихина О.В., Малахов В.В. О распределении некоторых групп зоопланктона в бухте Кратерной // Мелководные газогидротермы и экосистема бухты Кратерной (Вулкан Ушишир, Курильские острова). Кн. 2. Биота. Владивосток. ДВО РАН. 1991. С. 186-194.

Столярова М.В., Касаткина А.П. Морфологические отклонения и аномалии морфогенеза у морских стрелок (*Chaetognatha*) под влиянием радиоактивного загрязнения // Мат-лы Междун. Симпозиума «Клеточные, молекулярные и эволюционные аспекты морфогенеза». Москва, ИБР им. Н.К. Кольцова РАН, 2007. С. 155-157.

Столярова М.В., Касаткина А.П. Значение эпителиальных тканей в общей организации животных // Сборн. научных Трудов «Проблемы и перспективы современной науки». Томск, 2009. Том 2. № 1. С. 22-23.

Мионов Г.Н. Питание планктонных хищников (*Chaetognatha*)// Тр. Севастоп. биол. ст. 1960. Т. 13. С. 78—88.

Kassatkina A.P., Pantelev E.V., Yurasov G.I., et al. Morphological anomalies of *Chaetognatha* in Peter the Great Bay of the Sea of Japan// *Oceanography of the Japan Sea*. Vladivostok: Dalnauka, 2001. P. 255-259.

Ghirardelli E. Some aspects of the biology of the *Chaetognaths*// *Adv. Mar. Biol.* 1968. Vol. 6. P. 271-375.

Kühl W. *Chaetognatha*. Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreiches. Leipzig. 1938. Abt. 4. Buch 2. Teil 1. 226 S.

Nagasawa S., Mamuro R. Feeding of pelagic *Chaetognatha Sagitta nage* in Siruga Bay // *J. Oceanogr. Soc. Japan*. 1972. V. 28. P. 181–186.

Pierce E. *Chaetognatha* of the west coast of Florida// *Biol. Bull.* 1951. V. 100. N 3, p. 206-228.

Pearre S. Vertical migration and feeding in *Sagitta elegans* Verrill// *Ecology*. 1973. V. 54. N 2. P. 300-314.

Pierrot-Bolts A.C., Nair V.R. Distribution patterns in *Chaetognatha*// *The biology of Chaetognaths*, Oxford Sci. Publ. 1991. P. 86-116.

Sameoto D. D. Life history, ecological production, and an empirical mathematical model of the population of *Sagitta elegans* in St. Margarets Bay, Nova Scotia// *J. Fish. Res. Board Canada*. 1973. V. 30. N 3. P. 333-344.

Sorokin J.I., Wyskwarzev D.I. Feeding on dissolved organic matter by some marine animals. 1973. *Aquaculture*, 2: 141-148.

## СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ, ТРОФИЧЕСКИЕ НИШИ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ

Кияшко С.И.

*Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток, Россия*

*e-mail: sekiyash@mail.ru*

Различия между сосуществующими родственными видами со времен Ч. Дарвина являются предметом особого интереса биологов, так как именно понимание природы этих различий дает возможность понять процессы, определяющие разнообразие живых организмов.

Черты вида (морфологические, физиологические, поведенческие и др.), обуславливающие его отношение к разнообразным ресурсам, условиям внешней среды и другим живым организмам формируют его *экологическую нишу*, которую обычно представляют в виде некоего гиперобъема в *n*-мерном пространстве различных факторов (Hutchinson, 1957).

Хотя понятие экологической ниши является ключевым в построении концептуальных моделей биоразнообразия, практическое использование его в полном объеме затруднено. Иногда экологическую нишу удобнее рассматривать в редуцированном объеме, например, как "пищевую роль животного в экосистеме" (Weatherly, 1963), т.е. как *трофическую нишу*.

Использование анализа вариаций меристических признаков, связанных с питанием (размеры структур ротового аппарата, размеры тела), рациона и мест добывания пищи позволило делать количественные сравнения характеристик трофических ниш близких видов (ширины ниш, степени их перекрытия между видами). Однако, такие сравнения сталкиваются с рядом трудностей, порождающих большую степень неопределенности в результатах.

В последние десятилетия для определения источников пищи и положения консументов в пищевых сетях с большим успехом используют анализ соотношений стабильных изотопов углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) и азота ( $\delta^{15}\text{N}$ ) в мягких тканях организмов. Благодаря развитию и резкому росту

производительности этого аналитического метода стала возможной оценка индивидуальной изменчивости изотопных показателей на популяционном уровне. Было показано, что количественные оценки внутривидовых вариаций показателей  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{15}\text{N}$  могут служить мерой ширины трофической ниши вида (Bearhop et al., 2004).

Представленная на двухмерном графике область разброса значений  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{15}\text{N}$  особей из репрезентативной выборки - *изотопная ниша* - может отображать реализованную трофическую нишу популяции данного вида. Был предложен целый набор показателей, описывающих изотопную нишу и дающих возможность сравнивать изменчивость питания особей в популяциях сосуществующих видов с помощью современных статистических методов (Layman et al., 2007; Jackson et al., 2011). Анализ "изотопных" трофических ниш в последние годы становится одним из наиболее эффективных инструментов экологических исследований биоразнообразия водных экосистем.

В докладе представлены данные исследований симпатрических видов некоторых групп морских беспозвоночных (литоральных гастропод из родов *Littorina* и *Lottia*, раков-отшельников рода *Pagurus*) из прибрежных вод Японского моря с использованием анализа изотопных ниш. Результаты иллюстрируют возможности количественного анализа изотопных ниш для определения степени разделения трофических ресурсов, делающей возможным сосуществование многочисленных синтопных симпатрических видов.

# РАКИ-ОТШЕЛЬНИКИ – ОТШЕЛЬНИКИ ИЛИ ОБИТАТЕЛИ КОММУНАЛЬНОЙ КВАРТИРЫ? РОЛЬ ПАРАЗИТОВ В ИХ ЖИЗНИ

Е.С. Корниенко

*Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток, Россия*

*e-mail: kornielena@mail.ru*

Раки-отшельники живут в мобильных убежищах, чаще всего в пустых раковинах брюхоногих моллюсков. К настоящему времени описано более 850 видов раков-отшельников из самых разных мест обитания – от наземных до глубоководных. Общепринятое название «рак-отшельник» используется с начала XVIII века и на первый взгляд кажется вполне уместным, основанным на кажущемся уединенным образе жизни этих животных. Но чем больше мы узнаем об отшельниках, тем яснее видим, что они не живут анахоретами. Раковина, в которой обитает отшельник, это одновременно твердый подвижный субстрат и защищенное пространство, прибежище для целого сообщества видов. Одни живут на поверхности раковины, другие сверлят или растворяют раковину, третьи обитают в просвете раковины (свободно или прикрепляясь к ней изнутри). Есть виды, которые селятся на теле самого рака-отшельника. К настоящему времени в этом сообществе известно более чем 550 видов симбионтов из 16 таксонов, они связаны примерно со 180 видами раков-отшельников. Среди них 114 – обязательные комменсалы раков-отшельников, 215 – факультативные, а 232 – случайные партнеры. Чаще всего встречаются членистоногие (126 видов), полихеты (105) и книдарии (100). С одним видом раков-отшельников может быть связано более 100 видов симбионтов, в отдельных популяциях те или иные симбионты обнаруживались у 50% отшельников. Симбиоз – это сожительство двух организмов разных видов, приносящее им взаимную пользу. Взаимная, на первый взгляд, выгода не всегда таковой является. Даже в классическом примере симбиотических отношений – рак-отшельник и актиния: в присутствии хищников анемоны могут обеспечить защиту, но в их отсутствие являются энергетической нагрузкой для хозяев. Среди книдарий, плоских червей, аннелид и членистоногих, описанных ранее как комменсалы раков-отшельников, обнаружены, например, виды, которые питаются яйцами хозяев, т.е. их отношения с раками-отшельниками необходимо пересмотреть.

Кроме симбионтов известны и истинные паразиты, которые отрицательно влияют на выживаемость раков-отшельников и их способность размножаться. Примерно на 140 видах раков-отшельников обнаружено около 150 видов паразитов из 9 таксонов. В первую

очередь, это паразитические изоподы (83 вида) и корнеголовые ракообразные (30 видов), которые легко обнаруживаются при визуальном осмотре хозяина. Другие группы паразитов (динофлагелляты, микроспоридии, плоские черви, скребни, нематоды, нематоморфы) представлены единичными видами. Результат паразитарной инвазии изопод, корнеголовых, нематоморф и некоторых видов плоских червей – частичная или полная кастрация хозяина.

Тот факт, что у раков-отшельников, обитающих у берегов Европы, обнаружено больше видов симбионтов и паразитов, чем у отшельников из других регионов, равно как и то, что только у 15% обнаружены паразиты, отражает лишь недостаточную изученность отшельников. Еще более скудные количественные данные по зараженности раков-отшельников не позволяют в полной мере оценить роль паразитов в регуляции численности хозяев.

В наших работах мы уже отмечали, что в зал. Восток за последние 30–40 лет заметно поменялись видовой состав и соотношение видов раков-отшельников. Изменение видового состава – результат обнаружения новых видов, ранее не отмеченных в заливе. Кроме того, произошла смена доминантных видов: *P. middendorffii*, который ранее считался массовым (его доля в населении отшельников в зал. Восток в 70-80-е годы прошлого века по разным данным составляла от 70 до 100%), в настоящее время стал достаточно редким (немногим более 1%). Чтобы понять причины этого явления, мы исследовали репродуктивные и популяционные характеристики 7 массовых прибрежных видов раков-отшельников, обитающих на выбранном нами мониторинговом участке рядом с б/с Восток. Среди факторов, способных оказать заметное влияние на численность отшельников мы рассмотрели паразитарные инвазии, а именно степень зараженности корнеголовыми ракообразными и паразитическими изоподами.

Считается, что в зал. Петра Великого на раках-отшельниках встречаются три вида паразитических корнеголовых ракообразных – *Peltogaster reticulata* и *P. paguri*, которые формируют на плеоне хозяина одну или (редко) несколько экстерн и *Peltogasterella gracilis* со множественными экстернами. На отшельниках отмечены также два вида изопод из семейства Vorygidae: *Parapseudione lata*, которая локализуется в бранхиальной полости хозяина, и *Athelges takanoshimensis*, паразитирующая на его плеоне. Кроме того, встречается гиперпаразит – изопода *Liriopsis pygmaea* из семейства Cryptoniscidae, которая паразитирует на экстернах корнеголовых ракообразных, паразитирующих на раках-отшельниках.

У двух видов – *Pagurus proximus* и *Areopaguristes hirsutimanus* мы не обнаружили паразитов. Крупный рак-отшельник *Pagurus pectinatus* повержен инвазии только одного



вида корнеголовых – *Peltogasterella gracilis*. Остальные четыре вида отшельников в разной степени заражены паразитическими изоподами и корнеголовыми ракообразными. Средняя экстенсивность инвазии Rhizocephala у разных видов раков-хозяев составила от 5.67% у *Pagurus minutus* до 21.53% у *P. middendorffii*. Зараженность бронхиальной изоподой *Parapseudione lata* не превышала 1%, экстенсивность инвазии *A. takanoshimensis* была заметно выше и наибольшего значения достигала у *P. middendorffii* (15.97%). Наибольшее видовое разнообразие паразитов отмечено у *P. ochotensis*: два вида изопод и два вида корнеголовых. Интенсивность заражения изоподами обычно составляет одну пару изопод на одного хозяина. Охотоморский рак-отшельник – единственный, на плеоне которого кроме экстерн Rhizocephala находились две пары плеональных изопод *A. takanoshimensis*, т.е. интенсивность инвазии этого вида изопод была выше 1. Довольно часто встречались случаи одновременной инвазии разных паразитов. У *P. brachiomastus* отмечены три варианта одновременного присутствия паразитов разных видов. На экстернах паразитирующего на *P. minutus* корнеголового отмечен гиперпаразит – изопода *Liriopsis pygmaea*.

У раков-отшельников *P. pectinatus*, *P. ochotensis* и *P. middendorffii*, на которых паразитирует *Peltogasterella gracilis* с множественными экстернами, степень зараженности заметно выше (соответственно, 11.7, 16.5 и 21.5%), чем у *Pagurus minutus* и *P. brachiomastus* (5–6%), зараженных корнеголовыми рода *Peltogaster*, обычно продуцирующими одну экстерну. Известно, что корнеголовые способны, не убивая хозяина, в течение нескольких лет жить в его организме, эксплуатировать его пищевые ресурсы и, стерилизуя хозяина и контролируя его поведение и морфологию, создавать условия, максимально выгодные для производства большого числа собственных личинок. Зараженные особи хозяина элиминируются из процесса размножения, численность молоди в популяции рака-отшельника резко уменьшается, а активное размножение паразита приводит к увеличению числа зараженных хозяев. Определяя экстенсивность инвазии раков-отшельников корнеголовыми, мы учитываем только особей с внешними признаками заражения (экстернами), но в размножении не участвуют и зараженные раки-отшельники, экстерны на которых еще не сформировались или были сброшены во время линьки. *Peltogasterella gracilis* – это колониальный вид, продуцирующий на теле хозяина множественные экстерны, каждая экстерна – это женская особь, дающая жизнь огромному числу личинок. Число личинок, производимых колониальными корнеголовыми за один сезон размножения во много раз больше, чем у неколониальных видов. Такая стратегия паразита, с каждым годом увеличивающая его численность, подрывает обновление популяции хозяина (Исаева, Шукалюк, 2007).

Пример *P. middendorffii* подтверждает это. В конце прошлого века этот вид был не только самым массовым, но и самым зараженным. Исследуя в зал. Посыета зараженность *P. middendorffii* паразитами, Волвенко (1992, 1995) основное внимание уделил изоподам, и лишь отметил присутствие корнеголовых у 4.62% раков-отшельников этого вида. Результатом исследования стал вывод, что плотность популяции *P. middendorffii* не достигает величины, необходимой для возникновения взаимной зависимости численности хозяев и экстенсивности их заражения паразитическими изоподами, поскольку численность и плодовитость рака-хозяина в данном местообитании лимитируются недостатком свободных раковин, а паразитизм – это потенциальный регуляторный фактор, который может стать механизмом, страхующим популяцию хозяина от чрезмерного размножения при избытке доступных раковин (Волвенко, 1995). Но, как мы видим, кроме изопод на этом отшельнике паразитирует *P. gracilis*. За 30 лет доля отшельников Миддендорфа с экстернами этого колониального вида выросла более чем в 4.5 раза, достигая в отдельные месяцы 50%. Известно, что *Rhizocephala* не только подавляют размножение зараженных ими десятиногих, но и значительно ослабляют организм хозяина, делая его уязвимым для вторичных инфекций. Мы видим, что у *P. middendorffii* заметно возросло и число особей, зараженных паразитическими изоподами (от 8 до 15%). Вероятно, все это и стало причиной столь заметного снижения численности этого вида.

Восстановится ли численность отшельника Миддендорфа на исследованном нами участке или этот вид здесь исчезнет окончательно? Показано, что экстенсивность инвазии корнеголовых может на порядок различаться между местообитаниями хозяев, разделенными всего на несколько километров. И зависит она не только от пола, этапа линьки, миграционного поведения хозяина, но и от ряда экологических факторов – солености, глубины, прибойности в месте его обитания. Отшельник Миддендорфа – тихоокеанский широкораспространенный бореальный вид, встречается в Беринговом, Охотском морях, в Японском море от Сахалина до западных берегов Кореи и на Хоккайдо, поэтому весьма вероятно, что исчезновение ему не грозит.

## ТРАНСПОЗОНЫ В ТРАНСКРИПТОМЕ МОРСКОГО ЕЖА *STRONGYLOCENTROTUS INTERMEDIUS*

Лебедев Е.Е.<sup>1</sup>, Остромышенский Д.И.<sup>1,2</sup>, Подгорная О.И.<sup>1,2,3</sup>, Адонин Л.С.<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> *Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;*

<sup>2</sup> *Институт цитологии РАН, С.-Петербург, Россия;*

<sup>3</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет, С.-Петербург, Россия;*

*e-mail: leo.adonin@gmail.com*

Программа Геном человека и последовавшее за ней быстрое чтение большого количества геномов сделали очевидным тот факт, что основную массу генома составляют огромные количества повторяющейся ДНК. Гены (экзоны), имеющие выражение в белке, составляют не более 2% от всего генома. Некодирующая ДНК является одним из ключевых участников регуляции работы генома. Важность не кодирующих ДНК и РНК подчеркнул в 2011 г. журнал Science, который назвал открытие «темной материи генома» одним из 10 важнейших открытий «нулевых двухтысячных» (2000 г. – геном человека, 2002 г. – геном мыши). В 2012 году были опубликованы результаты многолетнего проекта ENCODE, касающиеся аннотации функциональных элементов в небольшом фрагменте генома человека. Мусорная ДНК (junk DNA), оказалась совсем не «мусорной», а обладающей разнообразными функциями. Результат оказался совершенно неожиданным в рамках основной парадигмы, отраженной в самом названии «геном», (центральная догма клеточной биологии, Crick, 1968), где главная роль отводится генам, кодирующим белок.

Повторяющаяся, не кодирующая ДНК остается наименее исследованной частью геномов эукариот. Только в последнее время стали появляться работы, свидетельствующие о ее важности для нормального функционирования эукариотической клетки. Нарушения работы транскриптов транспозонов (TE), возникающие в раннем развитии (а иногда и в клетках взрослого организма), а также нарушения контроля активности мобильных элементов могут привести к серьезным последствиям. Для человека известно более 100 случаев различных заболеваний, в том числе наследственных синдромов (гемофилия, хороидермия сетчатки) и рака, причиной которых стало воздействие мобильных элементов на геном (Kazazian, 2016).

Наряду с высшими многоклеточными, представители типа иглокожие служат удобной моделью для изучения реаранжировки работы генома во время индивидуального развития. Поскольку морские ежи – вторичноротые животные, то данные, полученные на

этой модельной системе, можно экстраполировать на других дейтеростом, в том числе человека.

Первый этап на пути к пониманию роли TE – их поиск и идентификация у модельного объекта, морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*. Геном этого вида не секвенирован, но в базах данных Sequence Read Archive удалось найти его транскриптом (<http://trace.ddbj.nig.ac.jp/DRAsearch/study?acc=SRP034740>). Близкий вид *S. purpuratus*, единственный представитель иглокожих с проанализированным геномом, в нашей работе использован как референсный.

Скачанные риды транскриптома мы объединили в один сет и отфильтровали по качеству чтения, затем удалили риды, содержащие технические последовательности Illumina. Оставшиеся риды картировали на последовательности мобильных элементов *S. purpuratus*, взятых из Repbase. Картирование проводили с использованием программы bowtie2 с параметром local-sensitive. В итоге получены 264 последовательности мобильных элементов. С помощью геномного ассемблера SPADES (с параметрами по умолчанию) мы собрали из ридов транскриптома *S. intermedius*, картированных на соответствующий мобильный элемент *S. purpuratus*, последовательности первых (по проективному покрытию) 100 мобильных элементов.

Для подтверждения наличия собранных последовательностей в геномной ДНК морского ежа *S. intermedius* мы провели ПЦР анализ с праймерами, подобранными к рассчитанным последовательностям. Для этого с помощью программы Primer-BLAST (с параметрами по умолчанию), подобрали по одной паре праймеров. При ПЦР анализе в 84 случаях (из 100) мы получили продукт расчетной длины, в остальных либо не получили продукта, либо наблюдали смесь продуктов (шмер, лестница).

В дальнейшем предстоит определить уровень транскрипции собранных TE на разных стадиях жизненного цикла серого морского ежа и установить локализацию в эмбрионе.

Работа поддержана грантом РФФИ 15-15-20026.

# КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ БИОТЫ БЕРЕГОВЫХ ВЫБРОСОВ В БУХТЕ СЕВЕРНАЯ СЛАВЯНСКОГО ЗАЛИВА (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО)

Л.Е. Лебедев

*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,*

*Владивосток, Россия,*

*E-mail: drweqweb@mail.ru*

Моллюски, черви, ракообразные и растения – основные группы морского бентоса. Все эти организмы можно встретить на пляже после штормов. Свежие выбросы легко поддаются идентификации и не требуют применения дорогостоящих водолазных методов. Изучение выбросов не подвергает опасности жизнь исследователей и не нарушает структуру прибрежных водных экосистем. Цель данной работы – изучить качественный и количественный состав биоты береговых выбросов в бухте Северная Славянского залива.

Славянский залив вдается в южную часть северо-западного берега Амурского залива между полуостровами Брюса на юге и Янковского на севере. В северо-западной части залива расположена бухта Северная. Она значительно вдается в материк и ограничена мысом Мальцева и юго-западной оконечностью п-ова Янковского. По характеру водообмена с морем, степени проникновения и воздействия волн на берега и подводный склон это вторичная полузакрытая отмеляя бухта. Глубины колеблются от 11 до 20 м, вершинная часть бухты наиболее мелководная и заиленная. Грунты песчаные, илисто-песчаные в западной части, илистые в северной и центральной части. В куту бухты присутствуют подводные валы, сложенные из песчано-галечных наносов [3].

На станции 1, выполненной непосредственно у уреза воды, обнаружены 22 вида гидробионтов, из них 9 – водоросли и травы (табл.1). Наиболее многочисленны мелкие формы: бурая водоросль *Colpomenia peregrina* (36 экз./м<sup>2</sup>) и красная *Polysiphonia morrowii* (20 экз./м<sup>2</sup>) [2]. Биомасса полисифонии значительна и достигает 336 г/м<sup>2</sup>. Низкая численность (4 экз./м<sup>2</sup>) отмечена для двух редких видов красных водорослей. В среднем численность морских растений на станции 1 составила 16.4 экз./м<sup>2</sup>. Наибольшую биомассу создают бурая водоросль *Sargassum pallidum* (1601 г/м<sup>2</sup>) и морская трава *Zostera asiatica* (860 г/м<sup>2</sup>). Самая низкая биомасса (22.76 г/м<sup>2</sup>) характерна для багрянки *Ahnfeltiopsis flabelliformis* [5]. Средняя биомасса равна 370.72 г/м<sup>2</sup>.

Среди животных, средняя численность которых составила 23,7 экз./м<sup>2</sup>, с большим отрывом лидировали мелкие ракообразные: изопода *Cliamenella fraudatrix* и амфипода,

морская козочка *Caprella danilevskii* [1]. При этом биомасса их крайне незначительна (табл. 1). В небольшом количестве (4 экз./м<sup>2</sup>) встречались овальный краб *Glebocarcinus amphioetus*, гастропода *Nassarius multigranosus* [6] и двустворчатые моллюски: макома, гребешок, мидия.

Таблица 1. Качественный и количественный состав организмов на станции 1

24.06.2017, бухта Северная, приливно-отливная зона, песчано-галечный грунт, ручной сбор, рамка 50x50 см <sup>2</sup> , ст.1, проба 1, сб.: Кенин М.Д., Лебедев Л.Е., ВБб-122					
Вид	Группа	Численность (N, экз.)		Биомасса (B, г)	
		в пробе	экз./м <sup>2</sup>	в пробе	г/м <sup>2</sup>
<i>Desmarestia viridis</i>	Och	4	16	46.73	186.92
<i>Polysiphonia morrowii</i>	Rh	5	20	84	336
<i>Colpomenia peregrina</i>	Och	9	36	28.38	113.52
<i>Sargassum pallidum</i>	Och	2	8	400.23	1600.92
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	Rh	1	4	5.69	22.76
<i>Campylaephora crassa</i>	Rh	1	4	28.47	113.88
<i>Chorda asiatica</i>	Och	6	24	10.3	41.2
<i>Ulva fenestrata</i>	Ch	5	20	15.33	61.32
<i>Zostera asiatica</i>	Tr	4	16	215	860
<i>Nipponacmea moskalevi</i>	Ga	2	8	0.6	2.4
<i>Nassarius multigranosus</i>	Ga	1	4	0.25	1
<i>Littorina sitkana</i>	Ga	7	28	0.74	2.96
<i>Littorina mandshurica</i>	Ga	2	8	0.79	3.16
<i>Tegula rustica</i>	Ga	4	16	20	80
<i>Macoma incongrua</i>	Bi	1	4	0.85	3.4
<i>Mizuhopecten yessoensis</i>	Bi	1	4	21	84
<i>Mytilus trossulus</i>	Bi	1	4	3.19	12.76
<i>Asterias amurensis</i>	Ech	2	8	64	256
<i>Glebocarcinus amphioetus</i>	De	1	4	3	12
<i>Idotea ochotensis</i>	Is	19	76	2.07	8.28
<i>Cliamenella flaudatrix</i>	Is	32	128	0.35	1.4
<i>Caprella danilevskii</i>	Am	11	44	0.008	0.034

Обозначения: Och – бурые, Rh – красные, Ch – зеленые водоросли; Tr – морские травы, Ga – брюхоногие, Bi – двустворчатые моллюски; Ech – иглокожие, De – десятиногие, Is – равноногие, Am – разноногие, Ci – усонogie ракообразные.

Наибольшую биомассу создавали обыкновенная морская звезда *Asterias amurensis* (256 г/м<sup>2</sup>), приморский гребешок *M. yessoensis* (84 г/м<sup>2</sup>), брюхоногий моллюск *Tegula rustica* (80 г/м<sup>2</sup>) [4]. Биомасса амфиподы *C. danilevskii* (0.034 г/м<sup>2</sup>) и брюхоногого моллюска *N. multigranulosus* (1 г/м<sup>2</sup>) была наименьшей. Средняя биомасса животных на станции 1 составила 35.95 г/м<sup>2</sup>.

Таблица 2. Качественный и количественный состав организмов на станции 2

24.06.2017, бухта Северная, приливно-отливная зона, песчано-гравийный грунт, ручной сбор, рамка 70x50 см <sup>2</sup> , ст. 2, проба 1, сб.: Кенин М.Д., Лебедев Л.Е., ВББ-122					
Вид	Группа	Численность (N, экз.)		Биомасса (B, г)	
		в пробе	экз./м <sup>2</sup>	в пробе, г	г/м <sup>2</sup>
<i>Chorda asiatica</i>	Och	1	3	1	3
<i>Ahnfeltia tobuchiensis</i>	Rh	1	3	0.98	3
<i>Ulva lactuca</i>	Ch	2	6	2	6
<i>Zostera asiatica</i>	Tr	2	6	20.34	61.2
<i>Lottia versicolor</i>	Ga	1	3	0.1	0.3
<i>Tegula rustica</i>	Ga	2	6	3	9
<i>Umbonium costatum</i>	Ga	5	15	2.51	7.7
<i>Littorina mandshurica</i>	Ga	14	40	5.31	16
<i>Littorina squalida</i>	Ga	7	20	4.72	14.2
<i>Mitrella burchardi</i>	Ga	1	3	0.26	0.8
<i>Cryptonatica janthostoma</i>	Ga	2	6	5	15
<i>Nucella heyseana</i>	Ga	3	9	2.85	8.6
<i>Crassostrea gigas</i>	Bi	2	6	128	390
<i>Mizuhopecten yessoensis</i>	Bi	4	10	70.31	211
<i>Mytilus trossulus</i>	Bi	4	10	2.77	8.5
<i>Crenomytilus grayanus</i>	Bi	1	3	59.8	180
<i>Septifer keenae</i>	Bi	2	6	3.03	9.1
<i>Anadara broughtoni</i>	Bi	1	3	13.20	39.7
<i>Mactra chinensis</i>	Bi	1	3	9	27
<i>Spisula sachalinensis</i>	Bi	2	6	138.05	415
<i>Mya japonica</i>	Bi	1	3	53	160
<i>Asterina pectinifera</i>	Ech	1	3	4.13	12.5
<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	De	1	3	39	118
<i>Balanus rostratus</i>	Ci	2	6	1.01	3.05

Таблица 3. Качественный и количественный состав организмов на станции 3

24.06.2017, бухта Северная, супралитораль, мелкозернистый (песчаный) грунт, ручной сбор, рамка 1,25x1,25 м <sup>2</sup> , ст. 3, проба 1, сб.: Кенин М.Д., Лебедев Л.Е., ВББ-122					
Вид	Группа	Численность (N, экз.)		Биомасса (B, г)	
		в пробе	экз./м <sup>2</sup>	в пробе	г/м <sup>2</sup>
<i>Chorda asiatica</i>	Och	2	1.6	1.3	1.04
<i>Colpomenia peregrina</i>	Och	2	1.6	1.1	0.88
<i>Ahnfeltia tobuchiensis</i>	Rh	3	2.4	47	37.6
<i>Sargassum pallidum</i>	Och	2	1.6	64	51.2
<i>Zostera asiatica</i>	Tr	1	0.8	3.99	3.19
<i>Nassarius multigranosus</i>	Ga	2	1.6	0.46	0.37
<i>Tegula rustica</i>	Ga	4	3.2	4.66	3.73
<i>Littorina mandshurica</i>	Ga	8	6.4	2.95	2.36
<i>Littorina squalida</i>	Ga	2	1.6	1.31	1.05
<i>Mitrella burchardi</i>	Ga	2	1.6	0.18	0.15
<i>Cryptonatica janthostoma</i>	Ga	1	0.8	1.23	0.98
<i>Nucella heyseana</i>	Ga	1	0.8	3.59	2.87
<i>Boreotrophon candelabrum</i>	Ga	1	0.8	0.93	0.75
<i>Crassostrea gigas</i>	Bi	2	1.6	4.6	3.7
<i>Mizuhopecten yessoensis</i>	Bi	4	3.2	117.5	94
<i>Mytilus trossulus</i>	Bi	11	8.8	12.6	10.08
<i>Crenomytilus grayanus</i>	Bi	1	0.8	32.4	26.56
<i>Clinocardium californiense</i>	Bi	1	0.8	0.7	0.56
<i>Glycymeris yessoensis</i>	Bi	1	0.8	3.6	2.88
<i>Ruditapes philippinarum</i>	Bi	3	2.4	3.2	2.56
<i>Protothaca jedoensis</i>	Bi	1	0.8	2.9	2.32
<i>Arca boucardi</i>	Bi	1	0.8	2.8	2.24
<i>Macra chinensis</i>	Bi	1	0.8	3.52	2.82
<i>Spisula sachalinensis</i>	Bi	4	3.2	187.21	149.8
<i>Mya japonica</i>	Bi	1	0.8	0.69	0.55
<i>Asterias amurensis</i>	Ech	2	1.6	3.15	2.52
<i>Idotea ochotensis</i>	Is	2	1.6	0.18	0.15
<i>Caprella danilevskii</i>	Am	1	0.8	0.0007	0.0006



На станции 2 отмечены 24 вида гидробионтов, из них 4 – макрофиты (табл. 2); на станции 3 – 28 видов гидробионтов, из них 5 – макрофиты (табл. 3). Численность и биомасса растений на третьей станции очень низкие и в среднем равны соответственно 1.6 экз./м<sup>2</sup> и 18.78 г/м<sup>2</sup>. Среди животных наиболее высока численность тихоокеанской мидии – 8.8 экз./м<sup>2</sup>. На станции 3 численность 7 из 12 обнаруженных здесь видов двустворчатых моллюсков, трех видов гастропод и амфиподы *C. danilevskii* не превышала 0.8 экз./м<sup>2</sup>. Средняя численность животных на этой станции составила 1.98 экз./м<sup>2</sup>., их средняя биомасса – 17.7 г/м<sup>2</sup>. Наибольшую биомассу имели спизула (149.8 г/м<sup>2</sup>) и гребешок (94 г/м<sup>2</sup>). У амфипод *C. danilevskii* и *Idotea ochotensis* и гастроподы *M. burchardi* биомасса была наименьшей.

Самые высокие средние значения численности и биомассы растений наблюдали на станции 1, расположенной непосредственно у уреза воды в литоральной зоне. По мере удаления от воды показатели снижались: численность – в 4-10 раз, биомасса – в 20 раз. В связи с уменьшением количества выбросов макрофитов на пляже снижалась и численность животных – в 3 и 11 раз на станциях 2 и 3.

Таким образом, на трех станциях, выполненных от уреза воды до береговой зоны на западном побережье б. Северная, встречены 22, 24 и 28 видов гидробионтов, соответственно. Животные по числу видов доминировали на станции 2 (83%), максимальная численность отмечена для изопод *Cliamenella fraudatrix* (128 экз./м<sup>2</sup>). Растения на станциях 1, 2 и 3 представлены 9, 4 и 5 видами, наибольшая численность характерна для мелких форм: бурой водоросли *Colpomenia peregrina* (36 экз./м<sup>2</sup>) и красной *Polysiphonia morrowii* (20 экз./м<sup>2</sup>). Установлено, что биомасса морских растений уменьшается по мере удаления от уреза воды в 20 раз. Биомасса ассоциированных с ними беспозвоночных животных также снижается в 4-10 раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Животные и растения залива Петра Великого. Л.: Наука, Ленинградское отделение. 1976. 168 с.
2. Ключкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э. Атлас водорослей-макрофитов прикамчатских вод. Том 1. Петропавловск-Камчатский. Камчат НИРО, 2009. 2018 с.
3. Лоция северо-западного берега Японского моря от реки Туманная до мыса Белкина. М.: Управление начальника Гидрографической Службы ВМФ, 1984. 314 с.
4. Явнов С.В., Поздняков С.Е. Атлас промысловых и перспективных для промысла гидробионтов дальневосточных морей России. Владивосток. "Дюма", 2000. 168 с.
5. <http://algaebase.org>
6. <http://www.marinespecies.org>

## КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ БИОТЫ БЕРЕГОВЫХ ВЫБРОСОВ В БУХТЕ СЕВЕРНАЯ СЛАВЯНСКОГО ЗАЛИВА (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО)

Л.Е. Лебедев

ФГБОУ «ДАЛЬРЫБВТУЗ», Владивосток, Россия, drveqweb@mail.ru

Основными группами морского бентоса являются: моллюски, черви, ракообразные и растения. Все эти организмы можно встретить на пляже после шторма. Цель данной работы – изучить качественный и количественный состав биоты береговых выбросов в б. Северная (рис. 1) Славянского залива (зал. Петра Великого).

На станции № 1, выполненной у уреза воды, встречено 22 вида гидробионтов, из них 9 видов морских растений. Самая высокая численность характерна для мелких форм. Это бурая водоросль *Sargassum pterogitum* (36 экз./м<sup>2</sup>) и красная *Polysiphonia morrowii* (20 экз./м<sup>2</sup>). Биомасса полисифонии также значительна и достигает 336 г/м<sup>2</sup>. Два редких вида Rhodophyta имеют минимальную численность – 4 экз./м<sup>2</sup>. Средняя численность микрофитов – 16,4 экз./м<sup>2</sup>.

Наибольшую биомассу создают крупные формы: бурая водоросль *Sargassum pallidum* (1601 г/м<sup>2</sup>) и морская трава *Zostera asiatica* (860 г/м<sup>2</sup>) (рис. 2). Самая низкая биомасса (22,76 г/м<sup>2</sup>) отмечена у красной *Ahnfeltiopsis flabelliformis*. Средняя биомасса равна 370,72 г/м<sup>2</sup>.

Среди животных по численности с большим отрывом доминируют мелкие рачки: изопода *Chironella fraudatrix* и амфипод-морская козявка *Caprella danilevskii*. При этом биомасса их крайне мала. Самую низкую численность, 4 экз./м<sup>2</sup>, имеют овальный краб *Cancer amphioctus*, брюхоногий моллюск *Nassarius multigranulosus* и двустворчатые моллюски: макла, грешок, мидия. Средняя численность животных на станции 1 равна 23,7 экз./м<sup>2</sup>.

Наибольшую биомассу создают морская звезда *Asterias amurensis* (256 г/м<sup>2</sup>), грешок *Mizuhopecten yessoensis* (84 г/м<sup>2</sup>) и гастропода *Tegula rustica* (80 г/м<sup>2</sup>). Самая низкая биомасса у амфиподы *C. danilevskii* (0,034 г/м<sup>2</sup>) и гастроподы *N. multigranulosus* (1 г/м<sup>2</sup>). Средняя биомасса животных на станции 1 не превышает 36 г/м<sup>2</sup>.

На станции № 2 всего встречено 24 вида гидробионтов, из них 4 вида макрофитов. Наибольшую численность – 6 экз./м<sup>2</sup> – имеют зеленая водоросль *Ulva lactuca* и трава *Z. asiatica*. Низкая численность – 3 экз./м<sup>2</sup> – отмечена для бурой водоросли *Chorda asiatica*. Средняя численность макрофитов на станции 2 составляет 3,8 экз./м<sup>2</sup>.



Рис. 1. Схема расположения станций бухты Северная



Рис. 2. Массовые виды гидробионтов бухты Северная

Наибольшую биомассу создает морская трава *Z. asiatica* (61,2 г/м<sup>2</sup>). Самая низкая биомасса отмечена для багрянки *Ahnfeltia tobuchiensis* и бурой водоросли *Ch. asiatica* – по 3 г/м<sup>2</sup>. Средняя фитомасса равна 18,3 г/м<sup>2</sup>.

Среди животных по численности доминируют литторини: *L. mandchurica* – 40 экз./м<sup>2</sup> и *L. squallida* – 20 экз./м<sup>2</sup>. Низкую численность – 3 экз./м<sup>2</sup> – имеют краб *H. penicillatus*, звезда *A. pacifica*, густрица *M. burcharli* и бивальвии: крензидия, мия, макла, андала. Средняя численность животных на станции 2 – 8,2 экз./м<sup>2</sup>. Высокую биомассу создают спизула сахалинская *S. sachalinensis* (415 г/м<sup>2</sup>) и устрица гигантская *Crassostrea gigas* (390 г/м<sup>2</sup>). Минимальную биомассу имеет гастропода *Lotia versicolor* (0,3 г/м<sup>2</sup>). Средняя биомасса равна 82,27 г/м<sup>2</sup>.

На станции № 3 встречено 28 видов гидробионтов, из них 5 видов макрофитов. Численность и биомасса морских растений низкая. Средняя их численность не превышает 1,6 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса – 18,78 г/м<sup>2</sup>.

Среди беспозвоночных на станции № 3 высокая численность отмечена только для мидии *M. trassulus* – 8,8 экз./м<sup>2</sup>. Низкую численность – 0,8 экз./м<sup>2</sup> – имеют 10 видов моллюсков и 1 вид амфипод. Средняя численность животных низкая и равна 1,98 экз./м<sup>2</sup>.

Наибольшую биомассу имеют спизула (149,8 г/м<sup>2</sup>) и грешок (94 г/м<sup>2</sup>). Наименьшая биомасса у раков *C. danilevskii*, *Idotea ochotensis* и гастроподы *M. burcharli*. Средняя биомасса низкая, она не превышает 17,7 г/м<sup>2</sup>.

Таким образом, на трех станциях, выполненных от уреза воды до береговой зоны в б. Северная найдено 22, 24 и 28 видов организмов, соответственно. Морские растения на станциях № 1, 2 и 3 представлены 9, 4 и 5 видами. Животные доминируют по числу видов (83%) на станции № 2 (рис. 3). Самая высокая численность и биомасса макрофитов зарегистрирована на станции № 1, расположенной в литоральной зоне.

По мере удаления от уреза воды показатели обилия макрофитов быстро и резко снижаются; численность – в 4-10 раз, биомасса – в 20 раз. Биомасса беспозвоночных, ассоциированных с макрофитами, также уменьшается, но менее резко – в 4-10 раз. Численность животных снижается в 3 и 11 раз на станциях № 2 и № 3.

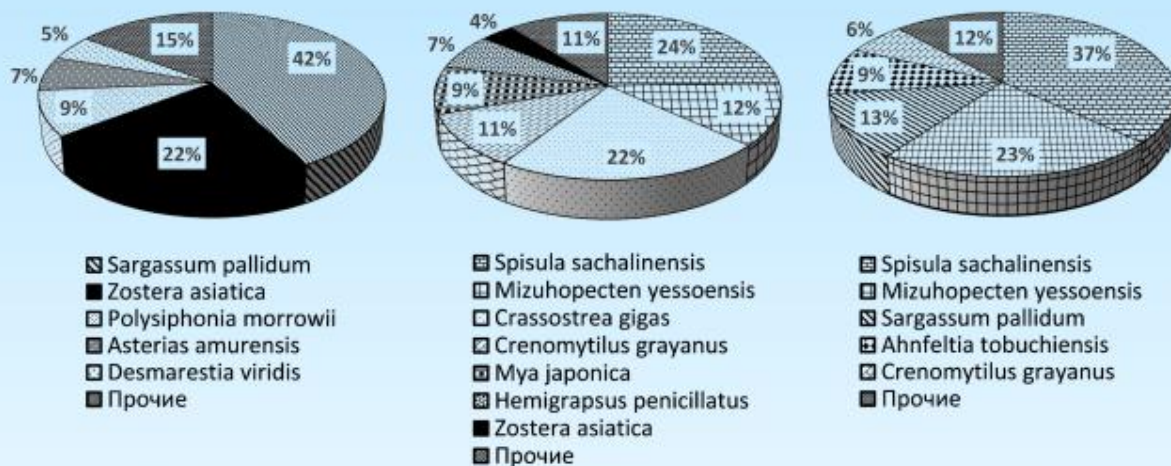


Рис. 3 Вклад массовых видов в общую биомассу на станциях № 1, 2, 3 (слева направо)

# МАССОВЫЕ ВЫБРОСЫ ЯПОНСКОГО АНЧОУСА НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ЯПОНСКОГО И ЮГО-ЗАПАДЕ ОХОТСКОГО МОРЕЙ

Л.Е. Лебедев<sup>1</sup>, Е.Б. Лебедев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный  
университет, Владивосток, Россия,

e-mail: drweqweb@mail.ru

<sup>2</sup>"Дальневосточный морской заповедник" - филиал ННЦМБ ДВО РАН, Владивосток,  
Россия,

e-mail: ev-lebedev@mail.ru

В Японском и Охотском морях, как и в других северных районах Пацифики и Атлантики, известны случаи массовых выбросов и гибели субтропических видов рыб, в том числе японского анчоуса *Engraulis japonicus* Schlegel. Выбросы происходят по разным причинам: из-за изменения температуры и рН воды, недостатка кислорода, отравления нейротоксинами микроводорослей и др. [8; 9; 14]. Цель данной работы – обобщить сведения о феномене массовых выбросов японского анчоуса в северо-западной части Японского моря и юго-западной части Охотского.

Японский анчоус *E. japonicus*, как и другие южные мигранты, не входит в состав постоянной ихтиофауны исследуемого района. В северной части ареала он появляется эпизодически для нагула и роста [1; 2; и др.]. В летне-осенний период здесь часто формируются благоприятные термические условия для проникновения и обитания субтропических рыб [4; 5]. Продолжительность пребывания нагульных мигрантов в различные годы зависит от устойчивости этих условий. В то же время осенью нередки случаи массовой гибели молоди или взрослых рыб.

Массовые выбросы *E. japonicus* у западного побережья Сахалина наблюдались в 1940-1960-е годы, а также в последние годы – в октябре 2011 и 2016 гг. [1; 2; 3; 6; 9; 10]. Молодь обычно погибает в сентябре, а взрослые особи – в октябре или, в некоторые годы, ноябре (таблица). Критическая температура воды для молоди японского анчоуса колеблется от 4.6 до 8.0°C, а для половозрелых особей составляет 2.4–3.0°C [6].

В 20 веке для объяснения феномена массовых выбросов и гибели южных мигрантов проводили ихтиологический анализ с привлечением гидрометеорологических данных того района и за тот период времени, где и когда случился выброс. Только в 2011 г., после новых массовых выбросов сардины иваси на юго-западное побережье о-ва

Сахалин, были выполнены комплексные исследования [3]. Полное паразитологическое вскрытие большого количества особей не выявило явных заболеваний рыб. Результаты физико-химических анализов также свидетельствовали об отсутствии скрытых и явных патологий у обследованных образцов. Не было обнаружено радиоактивных веществ, органических и неорганических токсикантов.

Таблица. Подходы и выбросы японского анчоуса в прибрежную зону в северной части ареала

Возрастная группа	Район	Дата	Температурные условия	Поведение анчоуса
Взрослые особи	Японское море, юго-западный Сахалин	октябрь 1948	нет данных	заходы и массовые выбросы
Молодь	юго-западный Сахалин	сентябрь 1950	температура воды снизилась на 12°C [1; 2]	массовые выбросы
Сеголетки	Охотское море, залив Анива	начало сентября 1950	нет данных	заходы
2-3-летние особи	Охотское море, залив Анива	конец сентября 1950	нет данных	заходы
Взрослые особи	Охотское море, залив Анива	2-я половина октября 1950	нет данных	заходы
Разновозрастные особи	Японское море, западный Сахалин	лето-осень 1952-1959 гг.	нет данных	массовые заходы
Взрослые особи	юго-западный Сахалин	2-я половина октября 1958	нет данных	массовые выбросы
Разновозрастные особи	западный Сахалин	май–июнь 1960	прибрежье блокировано холодными водами [2; 6]	нет заходов
Разновозрастные особи	западный Сахалин	август–сентябрь 1960	температура воды составляла 17-19°C [2; 6]	есть заходы
Разновозрастные особи	северо-западный Сахалин	начало октября 2011	отрицательная аномалия температуры воды на поверхности моря [12]	массовые выбросы
Разновозрастные особи	Охотское море, залив Анива	сентябрь–октябрь 2012	положительная аномалия температуры воды на поверхности моря; в октябре температура снизилась до 10°C [12]	массовые выбросы в октябре
Разновозрастные особи	Японское море, западный Сахалин	начало октября 2016	отрицательная аномалия температуры воды на поверхности моря [10]	массовые выбросы

У берегов Приморья также известны случаи массовых выбросов и гибели *E. japonicus*. Чаще всего они отмечаются в августе-сентябре у побережья среднего Приморья и в юго-западной части зал. Петра Великого [13]. В конце августа 2016 г. был изучен размерный и половой состав особей японского анчоуса в массовых выбросах в полосу прибоя на побережье бухты Сивучья (зал. Петра Великого). Доля половозрелых особей

анчоуса в выборке (172 экз.) была невелика и составляла около 11% от общего числа изученных рыб (рис. 1). Чаще всего в выбросах встречались особи с длиной тела 9-10, 10-11 и 8-9 см – 45%, 23% и 15%, соответственно (рис. 2). Как видно, неполовозрелые особи анчоуса в возрасте 1+ - 2+ лидировали среди обнаруженных на побережье рыб. Выбросы были зарегистрированы после прохождения тропического циклона, вызвавшего быстрое понижение температуры воздуха и подток холодных вод из открытой части залива в прибрежную зону.

Проникновение тепловодных рыб в воды северо-западной части Японского моря и юго-западной части Охотского, вероятно, является косвенным отражением многолетних крупномасштабных изменений условий среды. Наступление периодов потепления поверхностных вод, обусловленных увеличением расхода Куроисио, вызывает смещение ареалов некоторых видов на север [7]. Во время нагула они придерживаются теплых потоков, направление и интенсивность которых и определяют пути миграций.

Поэтому наиболее вероятной причиной массовых выбросов и гибели южно-широтных видов рыб в исследованных районах следует считать аномально резкое снижение температуры воздушных масс и прибрежных вод в осенний период. Высокая чувствительность этих видов рыб к изменению температуры воды связана с особенностями их биологии в северной части ареала. Резкие изменения температуры воды за очень короткий промежуток времени, вызванные действием штормовых ветров восточных, северных и западных направлений, оказываются губительными для взрослых или молодых рыб – южных мигрантов.

Массовые выбросы и гибель *E. japonicus* и других тепловодных рыб в северной части ареала происходят обычно после прохождения циклонов и в конце нагульных миграций. Молодые особи анчоуса имеют более высокую критическую температуру и поэтому погибают раньше, в конце лета – начале осени. Взрослые половозрелые рыбы, задерживаясь с откочевкой на юг, погибают в середине или в конце осени. Отдельные косяки, поджатые холодными водами, оказываются отрезанными от основных путей миграции и скапливаются на наиболее тепловодных прибрежных участках. Резкое понижение температуры воды может привести рыб в аномальное состояние: особи становятся малоподвижными. Волны выбрасывают на берег стаи рыб, находящихся вблизи приливной зоны, и они гибнут [11].

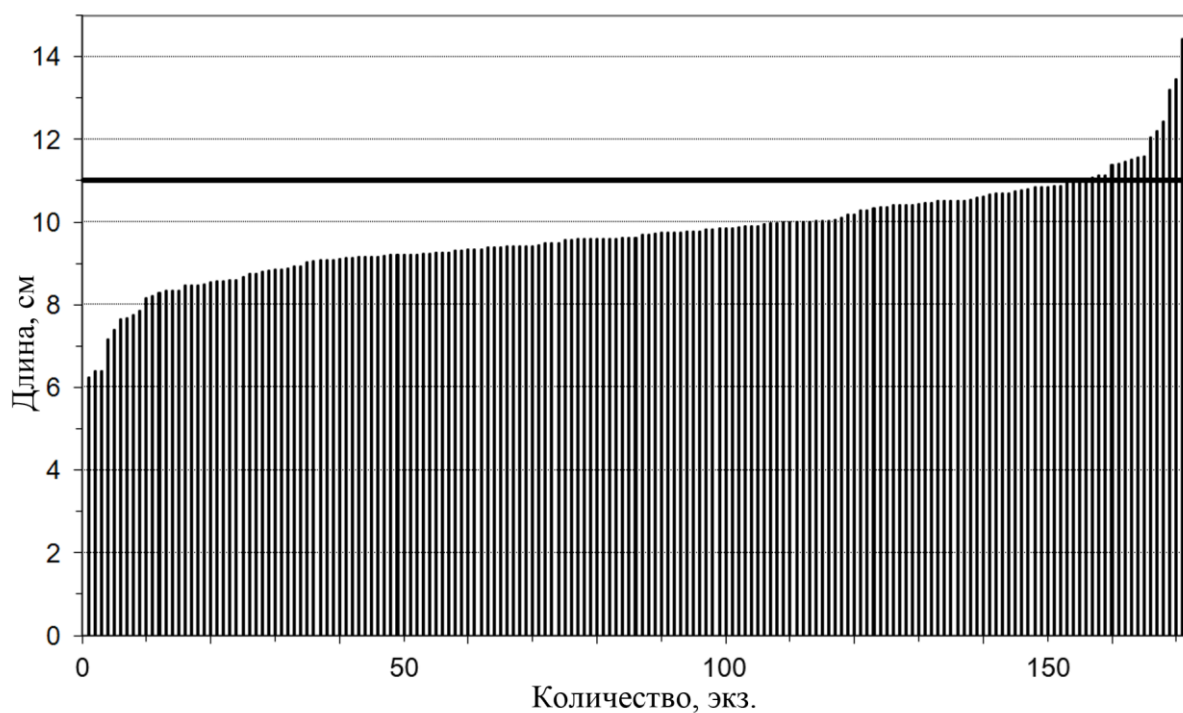


Рис. 1. Доля половозрелых особей (>11 см) в выборке *E. japonicus* от 29.08.2016 г.

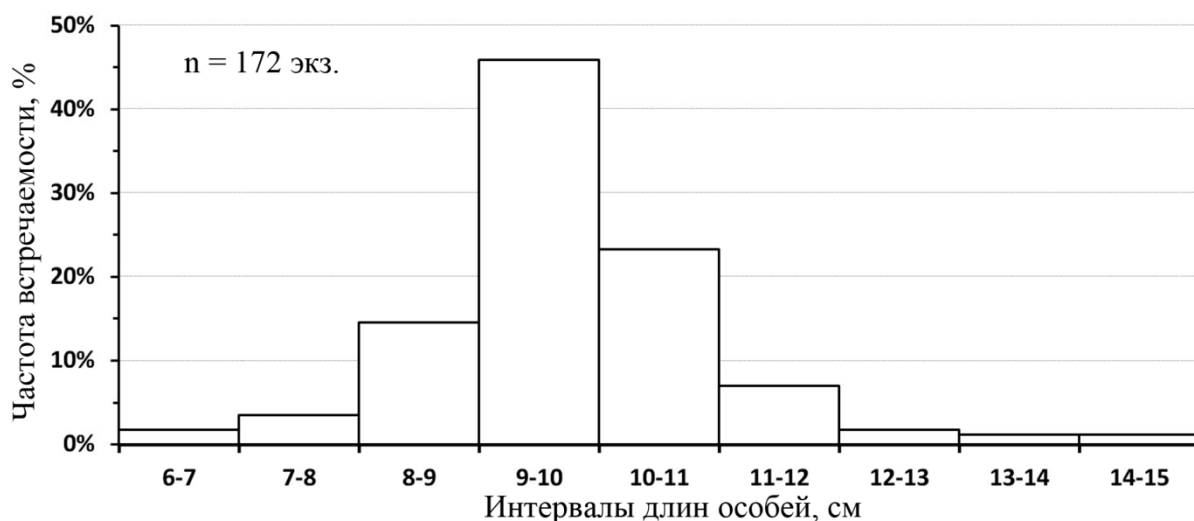


Рис. 2. Размерные группы особей *E. japonicus* в выборке от 29.08.2016 г.

Таким образом, наиболее вероятной причиной массовых выбросов японского анчоуса и других субтропических видов рыб в исследованных районах следует считать резкое снижение температуры воздушных масс и прибрежных вод в осенние месяцы. Чаще всего это происходит после мощных циклонов: в Татарском проливе и у берегов Сахалина – в начале октября, а у берегов Приморья – в конце августа и начале сентября. Массовые заморы нагульных южных мигрантов в северо-западной части Японского и юго-западной части Охотского моря обычно связаны с похолоданием, что не является аномалией.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дружинин А.Д., Фридлянд И.Г. Некоторые данные об анчоусе в водах Сахалина // Изв. ТИНРО. 2012. Т. 171. С. 62-68.
2. Дарда М.А. Распределение и биологическая характеристика анчоуса (*Engraulis japonicus* Schl.) в водах Сахалина // Изв. ТИНРО. 1968. Т. 65. С. 42-48.
3. Великанов А.Я., Буслов А.В., Никитин В.Д. и др. Очередное появление дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* (Clupeidae) у западного побережья Сахалина // Изв. ТИНРО. 2012. Т. 171. С. 62-68.
4. Великанов А.Я., Тарасюк С.Н. О периодичности появления в Татарском проливе некоторых промысловых видов рыб // Биологические ресурсы шельфа, их рациональное использование и охрана: тез. докл. Владивосток: ДВО АН СССР, 1981. С. 11-12.
5. Великанов А.Я. Новая волна миграций рыб южных широт к берегам Сахалина // Вестник Сахалинского музея. Южно-Сахалинск, 2006. № 1. С. 265-278.
6. Скалкин В.А. О случаях массовой гибели рыб у берегов западного Сахалина // Вопр. ихтиол. 1965. Т. 5, вып. 1(34). С. 212-214.
7. Шунтов В.П., Васильков В.П., Долгопериодные флуктуации численности северотихоокеанских сардин // Вопр. ихтиол. 1981. Т. 21, вып.6. С. 963-975.
8. Monterey Bay Aquarium Research Institute. 2015 Annual Report. 68 p.
9. <http://www.cbs46.com>
10. <http://www.ferhri.org>
11. <http://www.fishnews.ru>
12. <http://www.sakhniro.ru>
13. <http://www.primpress.ru>
14. <http://www.weeklyworldnews.com>

## ЯВЛЕНИЕ МАССОВЫХ ВЫБРОСОВ ЯПОНСКОГО АНЧОУСА В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО И ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ

Л.Е. Лебедев<sup>1</sup>, Е.Б. Лебедев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия, drqweweb@mail.ru  
<sup>2</sup> "Дальневосточный морской заповедник" - филиал ИШЦМБ ДВО РАН, Владивосток, Россия, ev-lebedev@mail.ru



В Японском и Охотском морях наблюдаются массовые выбросы и гибель субтропических видов рыб, включая японского анчоуса *Engraulis japonicus*. Они происходят по разным причинам: из-за изменения температуры и pH воды, недостатка O<sub>2</sub>, отравления нейротоксинами микроводорослей и др. Цель работы – обобщение сведений о феномене массовых выбросов японского анчоуса в северо-западной части Японского и юго-западной части Охотского моря.

Японский анчоус, как и другие южные мигранты, не входит в постоянный состав ихтиофауны северо-западной части Японского и юго-западной части Охотского моря. В северной части ареала он появляется эпизодически для нагула и роста. Летом и осенью здесь часто формируются благоприятные термические условия для проникновения и обитания субтропических рыб. Продолжительность пребывания нагульных мигрантов зависит от устойчивости этих условий. В то же время осенью нередки случаи массовой гибели молоди или взрослых особей рыб.

Массовые выбросы японского анчоуса у западного побережья Сахалина наблюдались в 1940-1960-е годы, а также в последние годы – в октябре 2011 и 2016 гг. Молодь обычно погибает в сентябре, а взрослые особи – в октябре или в ноябре. Критическая температура воды для молоди *E. japonicus* равна от 4,6 до 8,0°С, а для половозрелого анчоуса составляет 2,4–3,0°С.

У побережья Приморья также известны случаи массовых выбросов *E. japonicus*. Чаще всего они отмечаются в августе-сентябре у побережья среднего Приморья и в юго-западной части зал. Петра Великого.

В конце августа 2016 г. был изучен размерно-возрастной состав особей анчоуса *E. japonicus* в массовых выбросах в полосу прибрежья на побережье б. Спичука (зал. Петра Великого). Доля половозрелых особей японского анчоуса в выборке (172 экз.) составила около 11% от общего числа изученных рыб (рис. 1). Чаще всего в выбросах встречались особи с длиной тела 9-10, 10-11 и 8-9 см – 45%, 23% и 15% (рис. 2).

Как видно, неполовозрелые особи анчоуса в возрасте 1+ – 2+ лидировали среди выброшенных рыб. Выбросы отмечены после прижатия тропического циклона, вызвавшего быстрое понижение температуры воздуха и подток холодных вод из открытой части залива в прибрежную зону.

В 20 веке для объяснения феномена массовых выбросов и гибели рыб – южных мигрантов проводили общий ихтиологический анализ с привлечением гидрометеорологических данных того района и за тот период времени, где и когда случился выброс.

Только в 2011 г., после новых массовых выбросов сардины иваси на юго-западное побережье о. Сахалин, были выполнены первые комплексные исследования. Полное паразитологическое вскрытие и физико-химические анализы большого числа особей рыб не выявили явных заболеваний, а также скрытых и явных патологий у обследованных образцов. В рыбе не было обнаружено радиоактивных веществ, органических или неорганических токсиантов.

Проникновение тепловодных рыб в воды данного района является ковенным отражением многолетних крупномасштабных изменений условий среды. Наступление периодов потепления поверхностных вод, обусловленных увеличением расхода Куросио, видно, вызывает смещение ареалов некоторых видов на север. Во время нагула они придерживаются теплых потоков, направленные и интенсивность которых и определяет пути миграций.

Поэтому наиболее вероятной причиной массовых выбросов и гибели анчоуса и других тепловодных видов рыб в северо-западной части Японского и юго-западной части Охотского моря следует считать аномально резкое снижение температуры воздушных масс и прибрежных вод в осенний период. Высокая чувствительность к изменению температуры воды связана с особенностями биологии этих видов в северной части ареала. Массовые заморы рыб – южных мигрантов в изученном районе обычно связаны с похолоданием, что не является аномалией.

Рис. 1. Доля половозрелых особей японского анчоуса (>11 см).

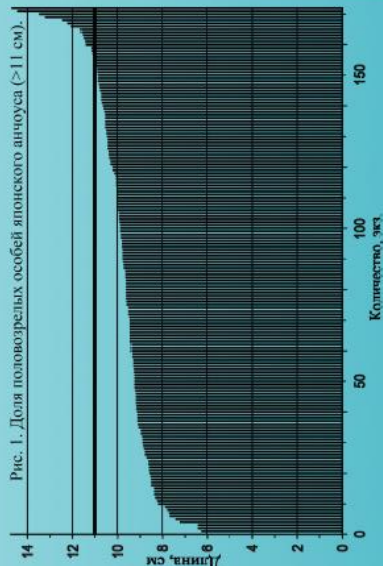
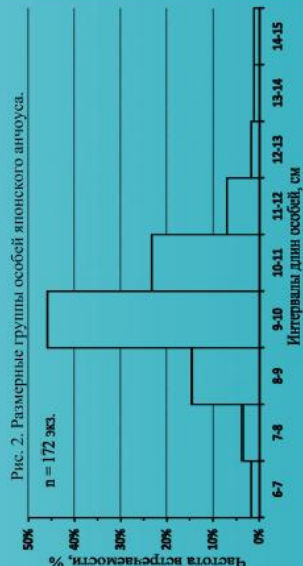


Рис. 2. Размерные группы особей японского анчоуса. n = 172 экз.





## ГИБЕЛЬ ЭМБРИОНОВ ЧЕЛОВЕКА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ МОБИЛЬНОЙ ТЕЛЕФОНИИ

В.А. Овсянников

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе*

*e-mail: victorovs@mail.ru*

С 70 – 80 гг. прошлого века в ряде развитых стран регистрируется рост незавершённых беременностей, заканчивающихся гибелью эмбриона в организме матери по неизвестным причинам. Чаще всего это происходило на первой трети срока вынашивания ребёнка. Некоторые специалисты выдвинули гипотезу о влиянии стресса на здоровье женщины, другие – продолжали искать подлинные причины этого явления.

Это касалось и России: многие учёные обратили внимание на стабильное уменьшение с 90-х годов детского населения в стране. Появились даже научные статьи с подзаголовками: «Мы вымираем» (Soboleva, 2011)

Наш Президент регулярно интересуется у губернаторов, как в их регионах обстоят дела с рождаемостью. С целью её повышения ввели «материнский капитал». По официальным данным, положение с рождаемостью, вроде бы, улучшилось. Проблему уменьшения численности детей подменили проблемой общей рождаемости, причины её возникновения подменили плохой экологией, виновных в гибели здоровых детей в утробе здоровой матери искать не стали – эмбрион ещё не человек и за его жизнь и здоровье никто, кроме самой матери, не отвечает.

Так что же происходит с эмбрионом человека, пока он растёт и развивался в организме матери. В 2008г. в докладе главного акушера Санкт-Петербурга Э.К. Айламазяна было сказано, что в нашем городе из-за плохой экологической обстановки рождается до одной трети детей с тяжёлыми патологиями, типа синдрома Дауна. Очень жаль, что Минздрав начинает заботиться о здоровье детей только после их рождения, когда, в некоторых случаях, это уже безнадежное дело.

Значит, внешние условия могут изменить генетические свойства будущего человека. Такими способностями обладают канцерогенные факторы – это и некоторые химические вещества, и различные излучения. В институте детской патологии проф. Б.И. Глуховец показал, что примерно 40% погибших эмбрионов уже имеет генетические изменения и 60% – инфекционные.

В «Энергетической модели канцерогенеза» В.А. Овсянникова к канцерогенным факторам отнесены и излучения радиодиапазона. Они легко могут проникнуть внутрь

организма беременной женщины и, достигнув эмбриона, вызвать в его тканях генетические изменения. Эмбрион ещё не имеет собственных иммунной и репарационной защитных систем, чтобы отторгнуть такие изменения, поэтому он может или погибнуть от них, или родиться с генетическими патологиями. Как успех медицины, прозвучало сообщение об удалении американскими учёными злокачественного новообразования у ещё не родившегося эмбриона.

Попытки отдельных учёных обратить внимание на опасность электромагнитных излучений (ЭМИ) для здоровья человека, наталкиваются на требование провести доказательные исследования.

В предлагаемом докладе будут приведены данные о реальных интенсивностях излучений от ретрансляторов мобильной телефонии, измеренные на рабочих местах в нашем городе. Но как запланировать гибель, даже эмбриона, в современных условиях?

Появление мобильных телефонов создало условия, когда передатчик радиоволн находится в непосредственном контакте с организмом человека. Об этой опасности сейчас говорят многие, указывая, в частности, на рост опухолей головного мозга и слюнных желёз. Но реально смертельную опасность для человека мобильный телефон может представлять лишь на эмбриональной стадии его развития.

Расчёт уровней ЭМИ от мобильного телефона, включаемого в зоне малого таза беременной женщины, показал, что, без учёта потерь в тканях между кожей и эмбрионом, эта интенсивность в 500 раз выше предельно допустимого по российским нормам уровня для взрослого человек.

Надеюсь, что эти цифры могут убедить женщин в периоды беременности пользоваться мобильными телефонами с большей осторожностью.

# ЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ-МАКРОФИТЫ ОСТРОВА МАТУА (СРЕДНИЕ КУРИЛЫ)

С.О. Очеретяна

*Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский,  
Россия*

*e-mail: sveta\_kam\_08@hotmail.ru*

Остров Матуа находится в центре Курильской гряды. Его площадь составляет 52 км<sup>2</sup>, длина с северо-запада на юго-восток около 11 км, ширина – 6,4 км (рис.1.). На острове расположены нежилые населённые пункты Сарычево и Губановка. Самый южный мыс о-ва Матуа на топографических картах называется Орловым, на морских же картах мыс продолжает оставаться мысом Юрлова. Для острова характерны гористый рельеф и влажный климат, в центральной его части находится действующий вулкан Сарычева (Атлас, 2009).

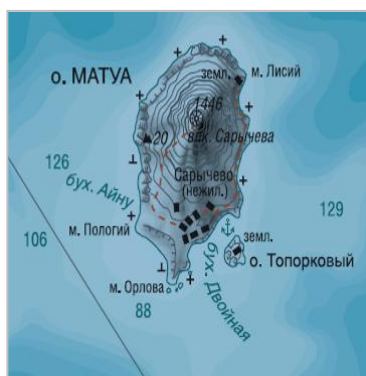


Рис. 1. Остров Матуа

В августе 2016г. на острове проводила исследования XX Камчатско-Курильская экспедиция Минобороны России и Русского географического общества, в состав которой входили сотрудники ТИГ ДВО РАН, собравшие предоставленные на обработку альгологические сборы по зеленым водорослям-макрофитам. Отметим, что целенаправленные исследования, литоральных и сублиторальных альгоцинозов отдела Chlorophyta, вокруг острова ранее не проводились, хотя отдельные разрозненные сведения можно найти в публикациях прошлого столетия, где в примечании или в описании распространения некоторых представителей отдела Chlorophyta указываются Курильские о-ва.

Образцы водорослей собирали на литорали и в сублиторальной зоне шельфа с помощью легководолазной техники. При отборе проб отмечали место сбора, регистрировали температуру воды, глубину произрастания и характер грунта.

Данные о погодных условиях, полученные в этом районе в августе 2016 г., свидетельствуют, что температура воздуха в среднем составляла 12.6°C, количество облачных дней составило 65%, что для средних Курил выше средних статистических показателей (<https://www.gismeteo.ru>). Условия обитания водорослей в литоральной зоне были достаточно благоприятными. На глубинах 10–12 м., где были собраны сублиторальные виды водорослей, температура воды была 2°C.

Ниже приведены список видов, обнаруженных в альгофлоре о-ва Матуа и их описание.

Порядок Bryopsidales, семейство Codiaceae, вид *Codium ritteri* Setch. et Gardn. (рис. 2)

*Место сбора:* 19.08.2016, гл. 10–11 м, t = 2°C, валуны.

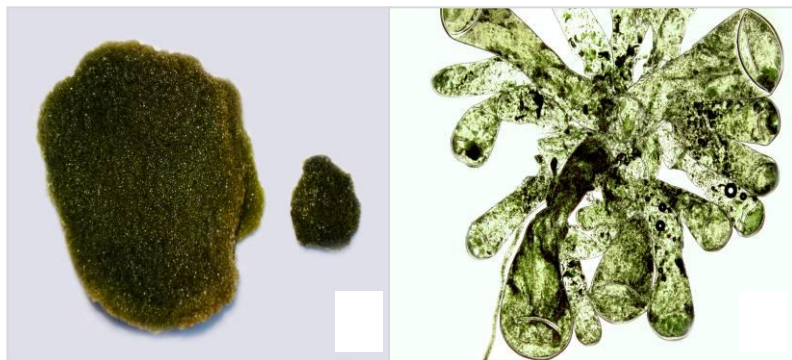


Рис. 2. *Codium ritteri*. 1 – Внешний вид растения; 2 – группа пузырей (утрикул).

*Описание:* Слоевище губчатое, стелющееся, округлой формы, плотное внутри, темно-зеленого цвета. Размер от 0.7–3 см в поперечнике. Утрикулы булавовидно-цилиндрические, расширяющиеся к верхушке

(рис. 2). Длина утрикул составляет 1,5–2 см, ширина – 300–500 мкм. От основания пузырей отходят ризоиды. Эпифиты отсутствуют.

Порядок Ulothrichales, семейство Ulothrichaceae, вид *Acrosiphonia saxatilis* (Dillwyn) Gain

*Место сбора:* 17.08.2016, м. Орлова (Юрлова), литораль, валуны, песок.

*Описание:* Мягкие, нитчатые, однорядные кустики, образующие дерновины до 7 см. Ветви прямые, густые, спутанные, темно-зеленого цвета. Ветвление поочередное, реже дихотомическое. Ветви первых порядков средней части кустика 60–150 мкм в ширину. Верхушки терминальных ветвей заостренные. Ветви последних порядков до 80 мкм. Хлоропласт пластинчатый, перфорирован, местами деформирован. Растения стерильные. Наблюдается сильный эпифитизм. Поверхностный слой обильно покрыт диатомовыми и сине-зелеными водорослями.

Вид *Acrosiphonia duriuscula* (Rupr.) Yendo (рис. 3)

*Место сбора:* 15.08.2016, литораль, валуны.



Рис. 3. Внешний вид

*Описание:* Жесткие, нитчатые, темно-зеленого цвета кустики с длинными боковыми ветвями, образующие дерновины 6-12 см. Ветви прямые, грубые, спутанные (рис. 3). В средней части ветвей клетки 150-300 мкм в ширину. Боковые ветви последних порядков 150 мкм в ширину. Верхушки ветвей округлые, тупые. Хлоропласт пластинчатый, перфорирован, местами деформирован.

Растения стерильные. Наблюдается сильный эпифитизм. Поверхностный слой обильно покрыт диатомовыми и сине-зелеными водорослями.

Порядок Ulvales, семейство Kornmanniaceae, вид *Kornmannia zostericola* (Tilden) Bliding (рис. 4)

Место сбора: 17.08.2016, м. Орлова (Юрлова), литораль, валуны, песок.

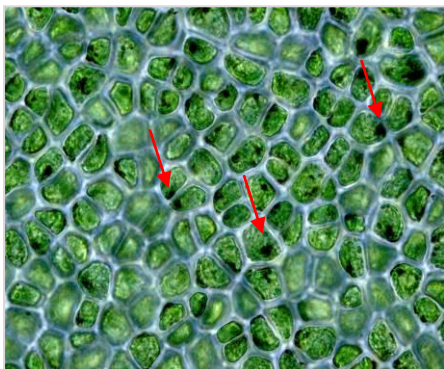


Рис. 4. На поверхности слоевища *Kornmannia zostericola* красными стрелками обозначены

*Описание:* Моностроматические пластины однослойные, цельные и лопастные, светло-зеленого цвета до 2 см в длину. Клетки в средней части слоевища угловато-овальные, их размер колеблется от 8 до 16 мкм в поперечнике. Клетки делятся в поперечном направлении, 2–10 дочерних клеток сближены, формируя группы. Однако они выражены не столь явно, как это показано в монографии Виноградовой (1979), изучающей зеленые водоросли Российского Дальнего востока. Толщина пластины 10 мкм. В

клетках находятся инородные включения в виде черных гранул (рис. 4). Вид обнаружен, как эпифит *Soranthera ulvoodia*. Сам эпифитов не имеет.

Семейство Monostromataceae, вид *Monostroma grevillei* (Thur.) Wittr. (рис. 5)

Место сбора: 17.08.2016, м. Орлова (Юрлова), плато, литораль, вода с запахом сероводорода.

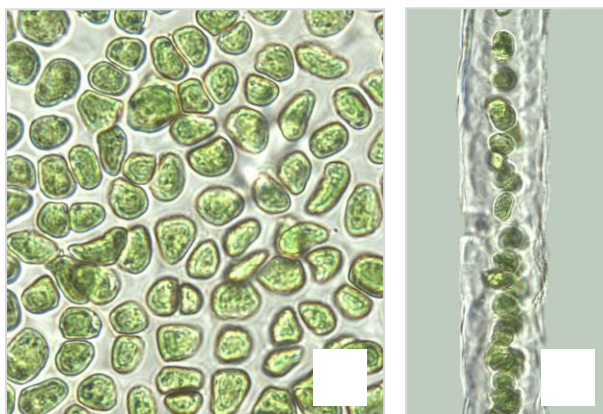


Рис.5. *Monostroma grevillei*. 1 – Клетки с поверхности слоевища. 2 – Срез спелой части растения.

*Описание:* Слоевище тонкое, темно-зеленого цвета, округлое. Растения до 4 см высотой, находятся в мешковидной стадии. Клетки круглой или овальной формы располагаются рыхло в межклеточном веществе. В средней части слоевища они имеют размер от 5 до 12 мкм в поперечнике.

Клеточные стенки на срезе плохо различимы. Толщина среза средней части слоевища от 37 до 45 мкм. Рост диффузный.

Растение в фертильном состоянии, без эпифитов.

Семейство Ulvaceae, Вид *Ulva fenestrata* P. et R. (рис. 6)

Место сбора: 17.08.2016, м. Орлова (Юрлова), литоральное плато, валуны, вода с

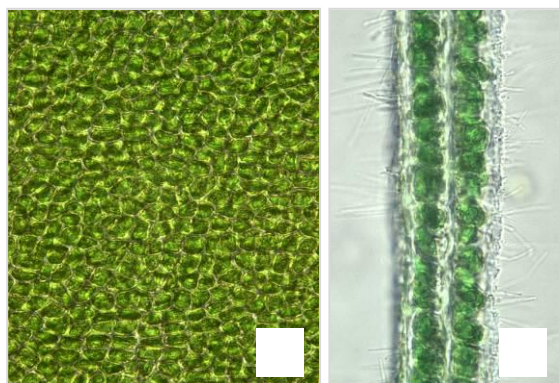


Рис. 6. *Ulva fenestrata*. 1 – Клетки с поверхности слоевища. 2 – Срез средней части

запахом сероводорода.

**Описание:** Цельные или грубо рассеченные пластины до 20 см в длину. Слоевище плотное, двухслойное. Основание клиновидной формы. Цвет растений темно-зеленый, иногда с более светлыми фертильными краями. Хлоропласт грубый четко очерченный, занимающий всю клетку.

Клетки с поверхности имеют округло-многоугольную форму. Размер клеток в верхней части пластины 11–22 мкм в поперечнике, толщина до 44 мкм. В качестве эпифитов обнаружены сине-зеленые водоросли.

Вид *Ulvaria splendens* Rupr. (рис. 7)

Место сбора: 15.08.2016, литораль, валуны; 19.08.2016, гл. 10-11 м,  $t = 2^{\circ}$  С, валуны.

**Описание:** Слоевище в свежем состоянии грязно-зеленого цвета, плотное,

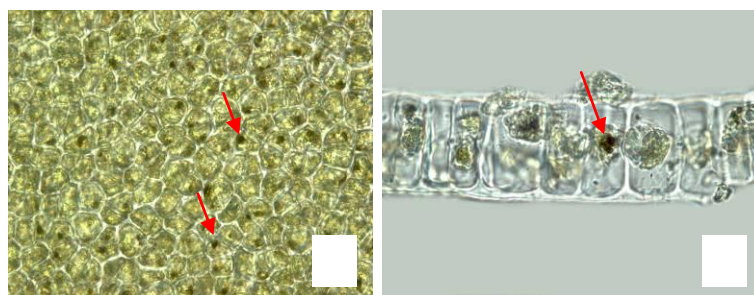


Рис. 7. *Ulvaria splendens*. 1 – Клетки с поверхности слоевища. 2 – Срез средней части растения. красными стрелками указаны черные включения

пластинчатое, однослойное до 12 см в длину. После гербаризации растение приобрело коричневатый оттенок. Пластина широкая, неправильнолопастная. Ее толщина в средней части до 50 мкм. Клетки с поверхности угловато-округлые, плотно

сомкнуты, в средней части пластины от 6 до 30 мкм в поперечнике. Нередко в них видны темные инородные гранулы (рис. 7). Эпифиты отсутствуют.

Согласно полученным данным, в августе 2016 г. на о-ве Матуа доминировали 6 видов зеленых водорослей, относящихся к 5 семействам. Пять видов в дальневосточных водах имеют чрезвычайно широкие ареалы. Исключение составляет *Codium ritteri*, который встречается только в холодоумеренных водах северной Пацифики и для азиатского побережья крайне редок (Виноградова 1974, 1979, Клочкова и др., 2009).

Обращает на себя внимание тот факт, что в клетках зеленых пластинчатых водорослей *Kornmannia zostericola* и *Ulvaria splendens* обнаружены инородные включения в виде черных гранул (рис. 4 и 7). Ранее подобное явление отмечено нами у зеленых водорослей Авачинской губы, в местах с сильным антропогенным загрязнением. Было

высказано предположение, что это связано с накоплением в клетках нефтепродуктов и нарушением клеточных процессов, связанных с трансформацией загрязнителей и выведением продуктов метаболизма, поскольку у ряда массовых видов из загрязненных местообитаний обнаружены клеточные аномалии и внутриклеточные темно-коричневые включения. Подобные образования у тех же видов в чистых морских акваториях отсутствуют. В ходе лабораторного содержания водорослей после первых суток количество внутриклеточных включений заметно уменьшалось, а через 2–3 дня они полностью исчезали, что свидетельствует об их трансформации в ходе внутриклеточных метаболических процессов (Очеретяна и др., 2015).

Нахождение у о-ва Матуа растений с подобными клеточными включениями может свидетельствовать о том, что, несмотря на удаленность от источников загрязнения, побережье этого острова может испытывать влияние загрязнения нефтепродуктами или льдальными водами. Стоит отметить, что во время Второй мировой войны японцы превратили остров в непреступную крепость, завезли огромное количество боевой техники и создали на острове места хранения нефтепродуктов. Возможно, нефтепродукты и антропогенные загрязнители до сих пор сохраняются в отложениях грунта и накапливаются в пластинах некоторых видов зеленых водорослей.

Автор выражает благодарность сотрудницам лаборатории гидробиологии КФ ТИГ ДВО РАН к.б.н. Н.П. Санамян и к.б.н. Е.Г. Паниной за сбор и гербаризацию альгологического материала. Особую признательность выражаем д.б.н. Н.Г. Клочковой за помощь в определении видов и консультации по вопросам систематики водорослей.

Работа выполнена при поддержке гранта Всероссийской общественной организации "Русское географическое общество" № 01\_2017-Р.

## ЛИТЕРАТУРА

Атлас Курильских островов. Российская академия наук. Институт географии РАН. Тихоокеанский институт географии ДВО РАН. Владивосток: ИПЦ ДИК. 2009. 516 с.

*Виноградова К.Л.* Ульвовые водоросли (Chlorophyta) морей СССР. Л.: Наука 1974. 155 с.

*Виноградова К.Л.* Определитель водорослей Дальневосточных морей СССР. Зеленые водоросли. Л.: Наука. 1979. 147 с.

*Клочкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э.* Атлас водорослей-макрофитов камчатских вод. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2009. Т. 1. 216 с.

*Очеретяна С.О., Клочкова Н.Г., Клочкова Т.А.* Сезонный состав «зеленых приливов» в Авачинской губе и влияние антропогенного загрязнения на физиологию и

рост некоторых зеленых водорослей // Вестник Камчатского ГТУ – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. № 33. 2015. С. 30-36.

Электронный ресурс – <https://www.gismeteo.ru>



## ВНЕКЛЕТОЧНАЯ ДНК ПОМОЖЕТ ПРОЛИТЬ СВЕТ НА НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ

Подгорная О.И.

*Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, 194064, Россия*

*ДВФУ, Школа биомедицины, Владивосток, 690922, Россия*

*e-mail: opodg@yahoo.com*

В жидкостях тела высших позвоночных циркулирует ДНК (внеклеточная ДНК; внДНК), но интересуются этим фактом в основном медики, не биологи (Anker et al., 1975; Vasioukhin et al., 1991, 1994). Чтение геномов и новые методы секвенирования позволяют по-новому взглянуть на проблему внДНК (Murtaza et al., 2013). В первой работе с применением тотального секвенирования ДНК плазмы использована раковая модель: при терапевтическом воздействии происходит эволюция раковых клеток. Секвенировали ДНК плазмы раковых больных в процессе терапии, отсюда экстрагировали только гены (экзом), гены из плазмы сравнивали с ДНК половых клеток, чтобы учесть все происходящие перестройки. Количественный учет мутантных аллелей в ДНК плазмы показал, что возрастание количества перестроенных вариантов коррелирует с возрастанием резистентности к терапии. Клональная эволюция раковых клеток в организме вполне прослеживается в ДНК плазмы (Murtaza et al., 2013). К сожалению, подобные работы для нормальных клеток отсутствуют.

Основными источниками внДНК в организме являются: (1) экзосомы покоящихся клеток, (2) микровезикулы активированных клеток; (3) апоптотические клетки (Rykova et al., 2012). Показан захват внДНК клетками культуры и ее включение в хроматин клетки-хозяина (Mittra et al., 2015). В этой работе также использовали ДНК раковых больных, причем как в виде очищенной ДНК (DNAfs), так и в виде фрагментов хроматина (Cfs); их метили и добавляли в культуральную среду мышинной линии NIH3T3 (фибробласты постоянной линии). Оказалось, что фрагменты как DNAfs, так и Cfs, быстро мигрируют в ядро и сохраняются там настолько долго, что удалось выявить трансформированные клоны. За вставками ДНК человека в геном мыши следили с помощью гибридизации с тотальной ДНК человека и с пан-центромерной пробой. Провели также секвенирование генома трансформантных клонов и обнаружили множественные копии встроившихся фрагментов. Гибридизация с пан-центромерной пробой заставляет думать, что tandemные повторы составляют значительную часть ДНК плазмы. Cfs встраивались гораздо лучше, чем DNAfs; оба препарата из раковых больных встраивались активнее, чем такие же из

здоровых доноров. Доказана и трансформация *in vivo* при инъекции ДНК человека мышам. Авторы заключают, что циркулирующая внДНК является постоянным, физиологичным повреждающим агентом, который в норме индуцирует апоптоз, но и участвует в множестве патологий, включающих старение и индукцию рака (Mittra et al., 2015).

Апоптоз, как источник внДНК, корректно охарактеризовали. Апоптоз экспериментально индуцировали в культуре эндотелиальных клеток пуповинной крови человека (HUVEC), и пул ДНК, присутствующей в культуральной среде (внДНК) был секвенирован и использован как проба для флюоресцентной гибридизации *in situ* (FISH; Morozkin et al., 2012). Оба метода показали асимметричное обогащение повторяющихся элементов во внДНК: (1) обогащение внДНК перичентромерными тандемными повторами (TR), основным из которых оказался HS3 (human satellite 3), но обеднение центромерным (CEN) TR альфа сателлитом; (2) обогащение внДНК Alu (SINE) элементом, но обеднение LINEs. Сходными характеристиками отличается сыворотка крови здоровых доноров (Beck et al., 2009).

Для сравнения с внДНК как правило используют собранный геном человека. Районы классического гетерохроматина не отражены в собранном геноме: длинные поля TR в перичентромерном и субтеломерном районах не собраны. В собранных геномах сборка хромосом обрывается на 3 Mb дыре, зарезервированной на центромерный район. TRs человека классифицированы весьма грубо. Про TR известно, однако, что именно они прикреплены к внутренней стороне цитоплазматической мембраны как ~6 тнп фрагменты, что определили при сравнении с исходными WGS\WGA базами данных (Chen et al., 2012). Именно поэтому, вероятно, возможно обогащение ими внДНК, в первую очередь, в апоптотических клетках. В этой удивительной работе на основе линии диплоидных В-лимфоцитов человека WI<sub>L</sub><sub>2</sub> сконструировали линию WI<sub>L</sub><sub>2</sub>-CG, которая экспрессировала на поверхности хитин-связывающий домен. Домен позволил выделить клеточную мембрану, не разрушая ядра и, таким образом, снять вопрос о ее загрязнении геномной ДНК. Глубокое секвенирование показало обогащение мембранной фракции как перичентромерными «большими» сателлитами (тандемными повторами, TR), так и альфоидным сателлитом. Тип альфоидного сателлита, правда, не определен и не определена его принадлежность истинному центромеру. Выявлен особый тип полимеразы II, который транскрибирует мембранную ДНК, именно альфоидный сателлит (Chen et al., 2012). Таким образом, эта работа решила положительно долго дискутировавшийся вопрос о наличии мембранной фракции ДНК, однако удивила обогащением фракции TR. Гетерохроматин, который обогащен TR, остается самой загадочной частью генома,

классификация TR только начинается (Komissarov et al., 2011); присутствие TR в мембранной фракции ДНК делает функции TR еще более загадочными.

Диспергированные повторы составляют до 50% собранных геномов эукариот, существует их классификация, однако степень их изученности невелика, учитывая их количество в геномах. Повторы класса транспозонов (transposable elements; TE) составляют не менее 48% собранного генома человека и их позиции определены. Alu элементы (SINE) расположены в основном в ген богатых районах, тогда как LINEs тяготеют к факультативному гетерохроматину. Об этом свидетельствуют данные биоинформатики (Waterston et al., 2002) и цитогенетики (FISH, Solovei et al., 2009). Положение TE в геномах как человека, так и мыши, фиксировано и сходно, что и приводит к синтении геномов вместе с другими элементами (генами, Waterston et al., 2002). В геноме человека Alu повторы замещают собой четыре SINE мыши (B1, B2, B4, ID).

Сравнение геномов человека и мыши представляет собой идеальную модель для поиска молекулярных и клеточных механизмов, обеспечивающих различие в уровне организации, поскольку оба вида принадлежат к одному и тому же классу животных, т.е. имеют гомологичные ткани и много ортологичных генов. Мышь имеет более низкий уровень организации вследствие отбора на скорость размножения, а не на сложность организации. Геномы обоих модельных видов хорошо изучены, для них имеются обширные данные по транскриптомам, полученные с помощью схожих методов. Сначала определили, что по сравнению с мышью у человека относительно большее число тканеспецифичных генов (Vinogradov 2003). Это указывает на более высокую специализацию (дифференцировку) клеток. Увеличение степени специализации элементов системы ("разделения труда") давно признано в качестве основной черты прогрессивной эволюции социальных и биологических систем (Smith 1776; McShea 1996; Gould 2002). Однако этот эффект не был показан на молекулярном ("омиксном") уровне, на уровне транскрипции генов. Провели подробный анализ транскриптомов, используя новые, более обширные данные для большего числа генов и тканей (Vinogradov, Anatskaya 2007). Определили долю тканеспецифичных генов и отношение суммарной экспрессии тканеспецифичных генов к суммарной экспрессии обще клеточных (housekeeping) генов у человека и мыши. При этом были применены различные индикаторы степени тканеспецифичности генов. Провели сравнение интенсивности транскрипции ~12000 ортологичных генов в 32 тканях человека и мыши по базам данных транскриптомов. Человек обнаруживает более высокий уровень экспрессии тканеспецифичных генов по отношению к генам «домашнего хозяйства» во всех исследованных тканях, что говорит о

более высоком эволюционном уровне клеточной дифференцировки (специализации) (Рис.1; Vinogradov, Anatskaya, 2007).

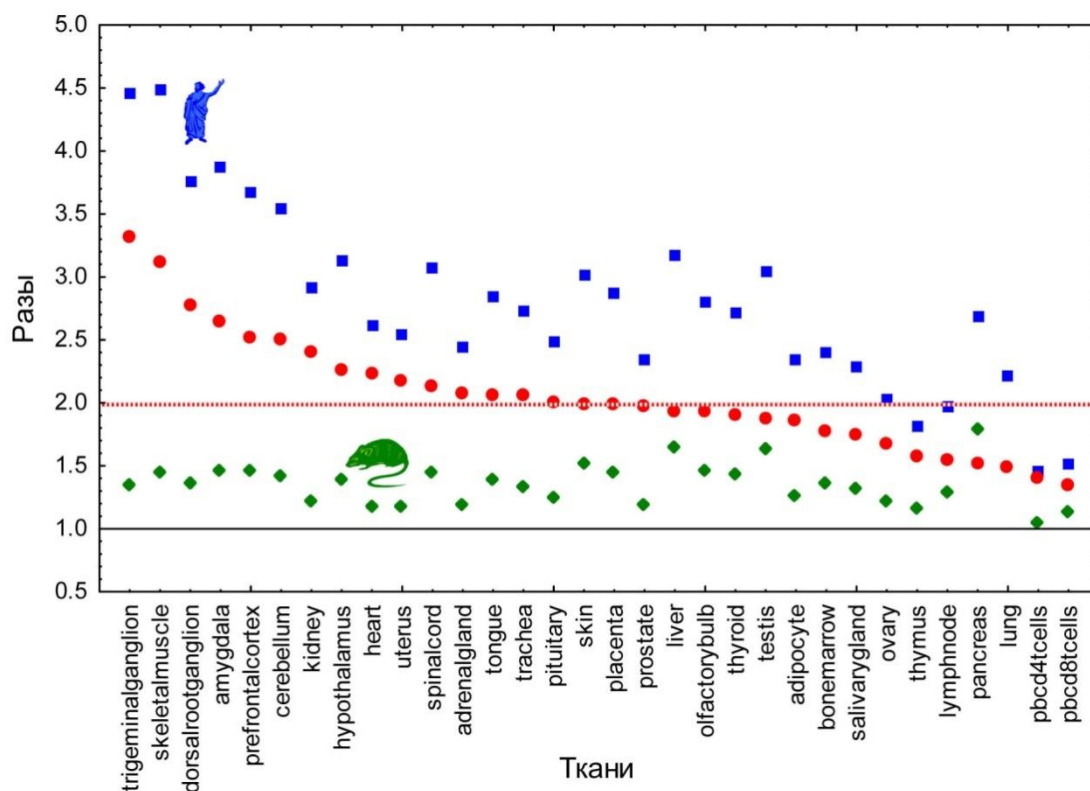


Рис.1. Отношение суммарной экспрессии тканеспецифичных генов к суммарной экспрессии обще клеточных (housekeeping) генов у человека (синие квадраты) и мыши (зеленые ромбы), а также отношение первой величины ко второй (красные кружки) в 32 парах гомологичных тканей. Данные получены на основании анализа 11534 пар ортологичных генов. Видно, что все синие точки выше, чем соответствующие зеленые, и, следовательно, все красные точки выше единицы. Красная штриховая линия показывает медиану красных кружков для всех 32 тканей.

Тотальный вклад ТЕ в функционирование и эволюцию геномов до сих пор неясен, несмотря на их количество в геноме (del Rosario et al., 2014). Определен вклад ТЕ в происхождение, определение разнообразия и регуляцию длинных некодирующих РНК (Kelley, Rinn, 2012; Kapusta et al., 2013; Lu et al., 2014). Кажется, что позиции ТЕ, фиксированные в течение ~65 Муг (расхождение линий грызунов и приматов), и тяготение SINEs и LINEs к потенциально активным или неактивным районам генома могут быть ответственными за определение хроматинового ландшафта этих районов. Замена SINE'ов в геноме человека очевидно коррелирует с увеличением уровня транскрипции в активном ландшафте. В любом случае, замена SINE произошла при разделении грызунов и приматов.

Тот факт, что внДНК обогащена SINE, поможет понять, как такая замена могла произойти в геномах одного помета\выводка. Известно, что трансформантные мыши могут получиться после инкубации сперматозоидов с экзогенной ДНК (Lavitano et al., 1989). Опосредованный сперматозоидами перенос экзогенной ДНК стал тривиальным методом ветеринарии (Smith, Spadafora, 2005; Spadafora, 2008; Simoes et al., 2012). При экспериментах на кроликах с их многочисленным потомством можно учесть количество трансгенных потомков в помете. При совместной инкубации сперматозоидов с экзогенной ДНК, DMSO и нагревании (heat shock) некоторые пометы на 100% состояли из трансгенов. Но еще более удивительно то, что никак не поврежденные сперматозоиды (только инкубация с ДНК плазмиды) давали до 30% трансгенов в потомстве (Kuznetsov et al., 2000). Неважно точное количество трансгенных потомков в помете; важно то, что трансген (измененный потомок) никогда не будет одинок, он найдет себе измененную пару в том же помете, т.е. возможен имбридинг. Сходство участков В1 элемента мыши и Alu элемента человека делает возможной замену всех элементов генома посредством рекомбинации. Ортологичные гены не затронуты при такой замене, вместо изменения генов меняется хроматиновый ландшафт, что и приводит к интенсификации транскрипции и дает эволюционное преимущество вновь возникшему виду.

TR также присутствуют во внДНК и именно TR являются максимально изменчивой частью генома. Тот факт, что TR изменены даже у близких видов (Melters et al., 2013; Остромышенский и др, 2011) говорит о том, что изменения TR фиксируют новый вид. Мы рассмотрели возможный ход видообразования на примере ТЕ, потому что степень не изученности TR не дает возможности привести литературные примеры. Однако, факт наличия TR во внДНК дает основания полагать, что предложенная схема одномоментной замены полей TR может быть справедлива и в этом случае.

Предложенная схема убирает два из противоречий Синтетической теории эволюции: (1) не генные мутации необходимы для прогрессивной эволюции, но замена повторяющихся элементов; (2) древние млекопитающие имели в помете не одного измененного потомка, но несколько, если не всех, из-за трансформации их внДНК; тогда близкородственное скрещивание оказывалось возможным для измененных особей.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Президиума РАН «Молекулярная и клеточная биология» и гранта РНФ 15-15-20026.

## ЛИТЕРАТУРА

Васюхин В, Липская Л, Цветков А, Подгорная О. ДНК, выходящая из лимфоцитов человека, содержит последовательности иммуноглобулинового гена к. 1991, Молекулярная биология, 25 (2), 405- 412.

Остромышенский Д.И., Кузнецова И.С, Голенищев Ф.Н., Маликов В.Г., Подгорная О.И. ( 2011). Применимость сателлитной ДНК как филогенетического маркера на примере трех родов подсемейства Murinae. Цитология. 53 (7) : 564–571

Anker P, Stroun M, Maurice PA. Spontaneous release of DNA by human blood lymphocytes as shown in an in vitro system. Cancer Res. 1975, 35(9):2375-82.

Beck Y., Urnovitz H. B., Riggert J., et al. 2009. Profile of the circulating DNA in apparently healthy individuals. Clin. Chem. 55: 730—738.

Cheng J, Torkamani A, Peng Y, Jones TM, Lerner RA. 2012. Plasma membrane associated transcription of cytoplasmic DNA. Proc Natl Acad Sci U S A. 109(27):10827-31.

del Rosario R.C.H, Rayan NA, Prabhaka S. 2014. Noncoding origins of anthropoid traits and a new null model of transposon functionalization. Genome Research 24:1469–1484

Gould S.J. 2002. The Structure of Evolutionary Theory. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts

Kapusta A, Kronenberg Z, Lynch VJ, et al. 2013. Transposable elements are major contributors to the origin, diversification, and regulation of vertebrate long noncoding RNAs // PLoS Genet. 9(4):e1003470.

Kelley D, Rinn J. 2012. Transposable elements reveal a stem cell-specific class of long noncoding RNAs // Genome Biol. 13(11):R107.

Komissarov AS, Gavrilova EV, Demin SJ, et al. 2011. Tandemly repeated DNA families in the mouse genome // BMC Genomics. 12:531.

Kuznetsov AV, Kuznetsova IV, Schit IY. 2000. DNA interaction with rabbit sperm cells and its transfer into ova in vitro and in vivo. Molecular reproduction and development 56:292–297.

Lavitrano M, Camaioni A, Fazio VM, et al. Sperm cells as vectors for introducing foreign DNA into eggs: genetic transformation of mice. Cell. 1989 Jun 2; 57 (5):717-23.

Lu X, Sachs F, Ramsay L, Jacques PÉ, et al. 2014. The retrovirus HERVH is a long noncoding RNA required for human embryonic stem cell identity // Nat Struct Mol Biol. 21(4):423-5.

McShea D.W. 1996. Metazoan complexity and evolution: Is there a trend? Evolution 50: 477-492.

Melters D. P., Bradnam K. R., Young H. A., et al. 2013. Comparative analysis of tandem repeats from hundreds of species reveals unique insights into centromere evolution. *Genome Biol.* 14: R10

Mittra I, Hare NK, Raghuram GV et al. 2015. Circulating nucleic acids damage DNA of healthy cells by integrating into their genomes. *J. Biosci.* 40(1), 91–111

Morozkin E.S., Loseva EM, Morozov IV et al. 2012. A comparative study of cell-free apoptotic and genomic DNA using FISH and massive parallel sequencing. *Expert Opin. Biol. Ther.*

Murtaza M, Dawson S-J, Dana W. Y. et al. 2013. Non-invasive analysis of acquired resistance to cancer therapy by sequencing of plasma DNA. *Nature.* 497 (7447):108-12.

Rykova et al., 2012. Cell-free and cell-bound circulating nucleic acid complexes: mechanisms of generation, concentration and content. *Expert Opin. Biol. Ther.* (2012)

Simoes et al., 2012 Sperm-mediated gene transfer: effect on bovine *in vitro* embryo production 2012, *Zygote*

Smith A. 1776. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations.* Edinburgh.

Smith K, Spadafora C. 2005. Sperm-mediated gene transfer: applications and implications. *BioEssays* 27:551–562.

Solovei, I., Kreysing, M., Lanctot, C., et al. 2009. Nuclear architecture of rod photoreceptor cells adapts to vision in mammalian evolution. *Cell* 137, 356-368.

Spadafora C. 2008. Sperm-mediated 'reverse' gene transfer: a role of reverse transcriptase in the generation of new genetic information. *Hum Reprod.*; 23(4):735-40

Vasioukhin V, Anker P, Maurice O, et al. 1994. Point mutations of the N-ras gene in the blood plasma DNA of patients with myelodysplastic syndrome or acute myelogenous leukaemia. *Br J Haematol.* 84(4): 774-9

Vinogradov A.E. 2003. Isochores and tissue-specificity. *Nucleic Acids Res.* 31: 5212-5220.

Vinogradov A.E., Anatskaya O.V. 2007. Organismal complexity, cell differentiation and gene expression: human over mouse. *Nucleic Acids Res.* 35: 6350-6356.

Waterston R.N., Lindblad-Toh K, Birney E, et al. 2002. Initial sequencing and comparative analysis of the mouse genome. *Nature.* Dec 5;420 (6915):520-62.

# АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТУНИКИ АСЦИДИИ *HALOCYNTHIA AURANTIUM* ПОСЛЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ

А.В. Полевщиков<sup>1,2</sup>, Е.В. Савочкина<sup>2</sup>, И.В. Кудрявцев<sup>1,2</sup>, А.С. Шилов<sup>1</sup>, А.Д. Завакевич<sup>1</sup>,  
В.А. Секун<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Школа биомедицины Дальневосточного федерального университета, Владивосток,  
Россия;*

<sup>2</sup>*Институт экспериментальной медицины, Санкт-Петербург, Россия,  
e-mail: ALEXPOL512@yandex.ru*

Проблема динамики и путей обновления клеточных популяций многоклеточных животных относится к классическим проблемам эволюционной гистологии. Актуальность данного направления особенно ярко проявилась в связи с открытием, изучением и попытками клинического применения циркулирующих стволовых клеток человека и животных. Данная проблема имеет важный эволюционный аспект. Если у беспозвоночных животных камбиальные клетки различных уровней потентности в основном собраны в тканеспецифичные регенерационные гнезда, узлы и другие структуры, то у хордовых и особенно позвоночных животных, наряду с тканеспецифичными олигопотентными стволовыми клетками, появляется и система циркулирующих плюри- и мультипотентных стволовых клеток, обладающих высокими пластичностью и регенеративным потенциалом. Наиболее вероятно, что эти коренные изменения в принципах тканевой репарации являются следствием общего повышения уровня организации всех хордовых и в частности позвоночных животных, усиления у них тканевой специализации и – главное – возникновения замкнутой кровеносной системы. Реализация направленного перемещения циркулирующих стволовых клеток сопровождается повышением роли интегративных систем организма, усилением нервной регуляции, становлением системы растворимых цитокинов и ростовых факторов, что особенно ярко проявляется на моделях тканевой репарации при тканевых повреждениях.

С этой точки зрения изучение динамики популяций циркулирующих гемоцитов асцидий может обеспечить получение важных сведений об исходных этапах формирования системы мобильных стволовых клеток. Асцидии имеют замкнутую кровеносную систему на личиночной стадии, в период морфогенеза, однако представляется вероятным, что при переходе к оседлому образу жизни донного



фильтратора, сопряженному с утратой её замкнутости, принцип работы камбиальной системы не меняется.

Цель данной работы – с использованием методов иммуногистохимии и проточной цитометрии проанализировать динамику популяций циркулирующих гемоцитов в ходе ответа на повреждение туники одиночной асцидии Японского моря *Halocynthia aurantium* (Pallas, 1787).

В качестве объекта исследования выбрана одиночная асцидия *Halocynthia aurantium* (Stolidobranchia: Pyuridae). Сбор животных производили в июле-августе 2008–2015 гг. на биостанции "Восток" ННЦМБ ДВО РАН. Перед экспериментом животных выдерживали в течение 4 сут в аквариальной в условиях проточной морской воды при принудительной аэрации. Всего в работе использовано более 120 животных.

Моделью тканевого повреждения было нанесение стандартизированного надреза туники и подлежащих тканей, включая стенку синуса. Длина надреза составляла 1 см при глубине 0.5 см. Во время первого повреждения туники одновременно производили забор гемолимфы (точка 0 ч, контроль) от каждой асцидии, через 24 ч асцидию надрезали повторно и осуществляли забор гемолимфы. Для предотвращения коагуляции клеток в пробирки добавляли 30 мМ раствор ЭДТА, приготовленный на фильтрованной морской воде (ФМВ). Полученную клеточную суспензию центрифугировали при 100g в течение 10 мин при 4°C, отмывали раствором Дальбекко без  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , pH = 6.0, содержащим 34 г/л NaCl, в соответствии с содержанием хлорида натрия в воде Японского моря, и ресуспендировали в этом растворе. Отмытые клетки в количестве  $5 \times 10^6$  переносили в объеме 500 мкл в микропробирки объемом 1.5 мл (Sarstedt, США), к клеткам добавляли равный объем 8% охлажденного до 4°C формалина и хранили в холодильнике до использования. Исследование образцов проводили на проточном цитометре FACSCalibur™ (Becton Dickinson, США), используя лицензированное программное обеспечение CellQuest Pro. Клеточные суспензии окрашивали флуоресцентными красителями SYTO16 Green Fluorescent Nucleic Acid Stain (в дальнейшем SYTO16) и LysoTracker Green DND-26 (в дальнейшем LysoTracker).

Параллельно от животных на всех точках наблюдения (0–9 суток) получали сектор стенки тела с участком надреза и подлежащими тканями, который фиксировали 24 ч смесью спирта (9 частей), формалина (3 части) и ледяной уксусной кислоты (1 часть) с последующим переносом материала для хранения в 70° этанол и заливкой в парафин. Срезы толщиной 3–5 мкм после депарафинирования окрашивали гематоксилин-эозином с докраской азуром для выявления общей морфологической картины, толуидиновым синим

для выявления морулярных клеток, по Маллори для выявления белков, кислых мукополисахаридов и коллагена, железным гематоксилином для поиска митозов, а также амидо чёрным 10Б для окрашивания белков. Иммуногистохимическую реакцию использовали для выявления PCNA – ядерного антигена пролиферирующих клеток.

Статистический анализ данных проводили с использованием параметрических и непараметрических методов. Для каждой выборки оценивали соответствие распределения нормальному по критерию Шапиро-Уилка. В случае нормального распределения вычисляли среднее  $\pm$  ошибку среднего ( $X \pm s$ ), а выборки сравнивали между собой по t-критерию Стьюдента.

Установлено, что на 3–4 сутки при сохранении материала тромба в раневом участке появляются первые волокна туники (оболочки, покрывающей тело асцидии). Максимум миграций камбиальных гемоцитов в тунику происходит на 1–3 сутки после повреждения, в то время как морулярные клетки появляются и накапливаются в поврежденном участке начиная с 3-х суток после травмы. Данные проточной цитометрии коррелируют с результатами морфологического исследования и указывают на стремительный прирост содержания гемоцитов на ранних сроках после травмы. Выявлены закономерности в связывании гемоцитов разных популяций с красителями SYTO16 и LysoTracker, а также некоторыми лектинами. Начиная с 3–4-х суток после травмы, после появления в очаге повреждения морулярных клеток, в тунике формируются новые волокна при сохранении материала тромба. К 8-м суткам количество волокон резко возрастает, однако раневой участок полностью не закрывается. Обнаружено, что изменение количества циркулирующих гемобластов, которым приписывают камбиальную функцию, коррелирует с изменением количества гемобластов, приходящих в раневой участок, в течение 7 суток после повреждения. Несмотря на интенсивную миграцию гемоцитов в очаг повреждения, в течение всего периода наблюдения в нем не найдено PCNA-позитивных пролиферирующих клеток при наличии единичных митозов.

Как известно, изучение механизмов регуляции кинетики клеточных популяций весьма успешно проводится у беспозвоночных и у низших хордовых животных, поскольку в некоторых тканях у них есть возможность идентифицировать отдельные камбиальные клетки. У высших позвоночных гораздо сложнее распознавать индивидуальные стволовые клетки *in vivo*, и работа проводится лишь с популяциями, обогащенными стволовыми клетками. Поэтому необходимо изучение механизмов самоподдержания стволовых клеток и роли отдельных клеточных элементов ниши в регуляции стволовых клеток, а исследование репаративного процесса у асцидий весьма актуально, поскольку эти животные являются самыми древними предками позвоночных

из ныне живущих хордовых животных. В ходе исследования гемолимфы асцидии *Halocynthia aurantium* показано, что в циркуляции присутствуют как минимум 5 основных типов клеток. Среди них выделены гемобласты, гранулоциты, гиалиновые амебоциты, макрофагоподобные и морулярные клетки. В ответ на травму покровов происходит достоверный прирост концентрации циркулирующих гемоцитов. Именно такая ответная реакция характерна для млекопитающих, у которых тканевое повреждение любого генеза сопровождается лейкоцитозом. Но применительно к асцидиям это указывает на существенное усиление физиологической межсистемной интеграции, а также на возможный выход клеток из депо, либо стремительное усиление гемопоэза. Стоит отметить морфологическое сходство гемобластов асцидий с лимфоцитами млекопитающих, многие авторы даже называют гемобласты лимфоцитоподобными клетками. Именно для гемобластов, а также предположительно связанных с ними гистогенетически гиалиновых амебоцитов, обнаружен прирост в циркуляции в ответ на повреждение туники.

Остается открытым вопрос, гемобласты способны дифференцироваться только в циркулирующие клетки, или они являются стволовыми клетками с более широким кругом возможных дифференцировок. Вопрос о наличии у асцидий циркулирующих плюрипотентных стволовых клеток остается открытым, равно как и вопрос об олигопотентных клетках различных тканей, однако общее признание получила гипотеза о способности гемобластов формировать разные морфотипы циркулирующих клеток и об участии циркулирующих (например, морулярных) клеток в формировании иных тканевых структур, в том числе туники. Количество морулярных клеток, которые составляют большинство циркулирующих гемоцитов, снижается после повреждения, так как именно морулярные клетки несут ответственность за «заклейку» раны.

Так или иначе, но возникновение системы стволовых клеток у хордовых животных, по-видимому, связано как с формированием циркуляторной системы, так и с несомненным усложнением тканевой дифференцировки, которая имеет место при переходе от первичноротых животных ко вторичноротым и далее к хордовым животным, на что в своё время многократно указывал акад. А.А. Заварзин (1953). При этом особенное значение имеет замкнутость кровеносной системы, характерная для мобильных личинок асцидий, поскольку только замкнутая кровеносная система способна обеспечить адресную доставку мобильных стволовых клеток в очаг тканевого повреждения.

Таким образом, сочетание методов проточной цитометрии, гистохимии и иммуногистохимии указывает на прирост относительного содержания гемобластов в ответ на повреждение туники асцидии *H. aurantium*. Данный процесс сопровождается

изменением функциональных параметров не только гемоцитов, но и всех циркулирующих клеток, что подтверждает изменение окрашивания витальными флюоресцирующими красителями и мечеными лектинами. Однако для заключения о становлении системы циркулирующих стволовых клеток уже у асцидий необходимо повторное проведение оценки пролиферативной активности циркулирующих камбиальных клеток в циркуляции и в очаге тканевого повреждения.

Работа частично поддержана грантами РФФИ №15-04-05093 и 17-04-01760.

ОСОБЕННОСТИ ВОСПРОИЗВОДСТВА ПОПУЛЯЦИИ *NIHONOTRYPAEA*  
*JAPONICA* (DECAPODA: CALLIANASSIDAE) В ЗАЛИВЕ ПЕТРА  
ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ

Н.И. Селин

*Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток*

*e-mail: nikselin@yandex.ru*

В результате трехлетних сезонных исследований креветки-привидения *Nihonotrypaea japonica* (Ortmann, 1891) из эстуарной зоны р. Волчанка (залив Петра Великого Японского моря) установлены характерные особенности размножения и динамики донного населения этого вида. На основе сравнительного анализа полученных и литературных данных обсуждается спектр адаптаций, позволяющий гидробионтам обитать вблизи границ ареала.

# СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЕНТОСНОЙ МОРСКОЙ ФЛОРЫ В ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЕ ЗАЛИВА САНЬЯ (ОСТРОВ ХАЙНАНЬ, КИТАЙ).

Э.А. Титлянов, Т.В. Титлянова

*Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток*

*e-mail: etitlyanov@mail.ru*

Впервые изучены сезонные изменения видового состава и структуры сообществ тропических морских бентосных водорослей и цианобактерий в супралиторали, верхней, средней и нижней литорали зал. Санья на о-ве Хайнань в период с 2008 по 2017 гг. Показано, что видовое разнообразие морских водорослей увеличивается от супралиторали (рис. 1) к нижней литорали (рис. 4), в то время как цианобактерий – уменьшается. Анализ распределения по приливно-отливным зонам 148 наиболее часто встречаемых видов водорослей показал, что в супралиторали обитали главным образом цианобактерии, в верхней и средней литорали (рис. 2 и 3) преобладали высокопродуктивные нитчатые и тонко-пластинчатые зелёные водоросли, нижняя литораль (рис. 4) была особенно богата однолетними и многолетними крупными, мясистыми или листовидными формами красных и бурых водорослей. В сухой сезон флора литорали была на 33% богаче видами, чем в дождливый период. В течение дождливого сезона в зоне заплеска и в верхней литорали доминировали цианобактерии, в то время как зелёные и красные водоросли преобладали в средней и нижней литорали. В сухой период в супралиторали были найдены только цианобактерии, которые доминировали также в верхней литорали, зелёные и красные водоросли по-прежнему преобладали в средней и нижней литорали. Сравнение наших результатов, полученных на о-ве Хайнань в зал. Санья (воды которого катастрофически загрязнены растворимыми и нерастворимыми отходами большого города) с результатами, полученными нами для других, менее загрязнённых районов, и с литературными данными, показывает, что таксономическая композиция бентосной флоры по основным группам морских водорослей пока соответствует таковой для других, менее загрязнённых мест этого географического региона, где красные водоросли составляют 50–60%, зелёные – 20–30% и бурые – 10–20% от общего количества видов. Мы предполагаем, что сезонные сдвиги в литоральной бентосной флоре зал. Санья, лежащего в тропическом регионе Индо-Вестпацифической географической области, обусловлены главным образом повышением температуры воздуха в сухой период и опреснением воды в дождливый.

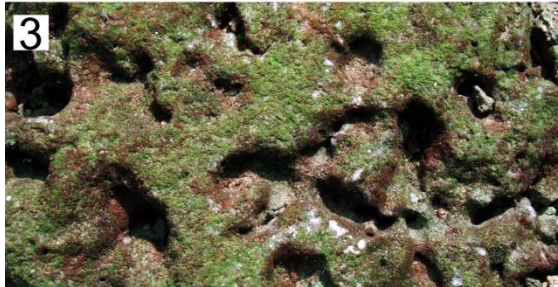


Рис. 1 – Супралитораль. Рис. 2. Верхняя литораль. Рис. 3. Средняя литораль.  
Рис. 4. Нижняя литораль.

## О СИММЕТРИИ РАДИОЛЯРИЙ

С.В. Точилина

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия,*

*tochilina@poi.dvo.ru*

Симметрия относится к сложной проблеме квантовой физики. При становлении квантовой теории (М. Планк, Э. Шрёдингер, Н. Бор и др.) весьма существенным оказалось рассмотрение симметрий квантовых систем. Была создана основа для широкого приложения методов квантовой теории не только в физике, но и в смежных науках, в том числе в биологии. В докладе «Биология и атомная физика» Нильс Бор сказал о единстве физико-химических и биологических процессов: «Ни один результат биологического исследования не может быть описан иначе, как в терминах физики и химии» (Бор, 1961, с. 27). Пьер Кюри (1884) исследовал симметрию электрических и магнитных полей; он открыл закон, связывающий скорость роста грани с величиной ее поверхностной энергии и плотностью расположения молекул. В кристаллах он видел не только их грани, но, прежде всего, анизотропную среду. «Удивительная способность организма пить упорядоченность из подходящей среды – это явление осуществляется хромосомами». Эрвин Шредингер назвал хромосомную нить «апериодическим кристаллом материального носителя жизни» (Шредингер, 1972: с. 78).

Большой вклад в проблему зависимости развития органического мира от геохимических факторов среды внесли отечественные учёные: В.И. Вернадский (1980), А.П. Виноградов (1967, 1968), Г.А. Заварзин (1984), В.Т. Иванов, Б.П. Готтих (1999), В.В. Ковальский (1974), Э.И. Колчинский (1990), О.Г. Кусакин, А.Л. Дроздов (1998), А.П. Лисицын (1990), В.В. Михайлов и др. (1999), Б.Б. Польшов (1956), И.А. Раппопорт (1993), А.Ю. Розанов (1989), А.В. Сидоренко (1984), Б.С. Соколов (2000), Г.М. Франк (1982) и др.

К настоящему времени опубликовано много отечественных и зарубежных работ, посвящённых вопросу неразрывного единства химии, физики и биологии.

Исследования по этим сложным проблемам, проводящиеся в Мировом океане, связаны с большими методическими трудностями. Природу симметрии и асимметрии можно рассматривать как элементы динамического развития в неоднородном пространстве океана. Ответы на вопросы о причинах симметрии, о биохимических зависимостях со средой относятся к мало исследованной области знания. Особенно это касается кремниевого планктона – радиолярий.



Устойчивость симметрии организмов с кремниевым скелетом зависит от биологических процессов в клетке и от физико-химических параметров водной среды.

Колоссальное разнообразие радиолярий и наличие форм высокой симметрии их раковин представляют очевидный факт. Но в публикациях, посвященных радиоляриям, симметрия представлена традиционным описанием морфологии. Научного анализа этой проблемы пока нет.

Обращение к сведениям из других областей знания служит поиском путей для объяснения наличия симметрии у радиолярий (Точилина, 2015). Биофизики ввели понятие “концентрационное поле”, как внешний стимул формообразования. И.А. Рапопорту (1993) – ученику Кольцова – принадлежит первенство в исследовании химического мутагенеза.

Концепция поля Мирового океана<sup>1</sup> представляет сложнейшую физико-химическую систему с бесконечным числом степеней свободы. Прикоснуться к этой проблеме возможно только экспериментальным подходом (см. ниже). В гиперпространстве Мирового океана существуют области, которые характеризуются разными значениями температуры, давления, рН, гН, Eh и переменным химическим составом водных масс. Зоны, в которых происходят изменения этих градиентов, относятся к геохимическим барьерам. Неоднородность водных масс океана порождает большое разграничение экологических ниш, в которых развиваются разные биологические сообщества, также усложняющие все химические процессы.

Океанская вода проникает в толщу базальтов в срединных хребтах до глубины 4-х километров. Это подтверждается изотопным анализом кислорода и комплексом вторичных минералов. Температура воды в этом процессе повышается. При внедрении магмы возникает высокое давление водного флюида; на последних стадиях происходит формирование гидротермальных систем различного состава. Экспериментальные данные показали, что из базальтов в раствор извлекается большинство элементов: Si, Fe, Ca, Mg, Al, Cu и др.; из щелочных базальтов экстрагируются такие важные биоэлементы, как Na, K и Mn (по классификации Ф. Эгами, 1980). В морской воде кремний находится в форме мета- и поликремниевых кислот, поставляемых гидротермами. В океане наиболее важными параметрами остаются температура и давление: с их повышением значительно изменяются характеристики электромагнитных полей. Морская среда дифференцирована: выявлены районы с относительно однородным распределением элементов и районы с высокой концентрацией многих элементов – “гидротермальные поля”.

---

<sup>1</sup> Происхождение вод Мирового океана произошло благодаря выносу гидросферы из недр Земли в результате вулканической деятельности (Rubeu, 1964); в палеозое и, особенно, мезозое количество воды увеличивалось.

О радиоляриях и их распространении в Мировом океане. По вертикали водных масс океана радиолярии найдены на глубинах 8000, 4500, 1500 м и др., что показано в экспериментальных работах по Курило-Камчатскому желобу (Решетняк, 1955) и в области Гавайского архипелага в Тихом океане (Takahashi, 1991).

В настоящее время мы продолжаем пользоваться результатами исследований биологии радиолярий, выполненными в начале и середине XX века французскими биологами А. Голланд и М. Енжуме (Hollande, Enjume, 1960), которые впервые установили, что радиолярии относятся к полиплоидам и что основные элементы их кремниевого цитоскелета занимают приядерное положение (рис. 1).

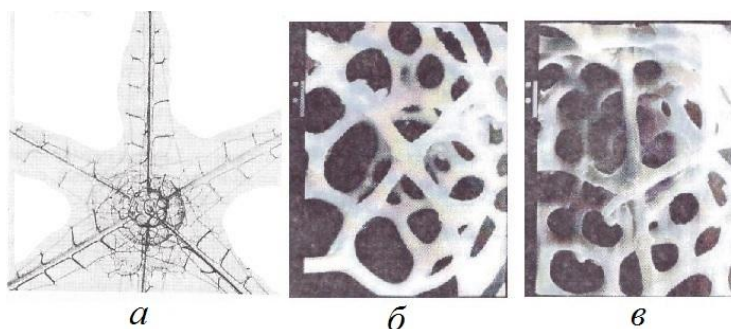


Рис. 1. *a* – *Hexadoras arachnoidale* (Holland, Enjume, 1960); *б, в* – *Sethocyrtis capreolus* Naeskel, 4-х лучевая конструкция цефалиса (Точилина, 1997).

Жан и Моника Кашоны (Cachon, Cachon, 1971, 1974), выявили расположение микротрубочек аксонем, состоящих из белковых молекул (протофибрилл), которые в поперечном разрезе представляют «триплеты», образующие гексагональную систему, близкую к кристаллической (рис 2, *a, б*). Следует отметить, что микротубулярный луч (стержень) у *Nassellaria* состоит из упорядоченного множества микротубулярных связок (пучков), выстроенных в гексагональную призматическую сеть (рис. 2 *б*).

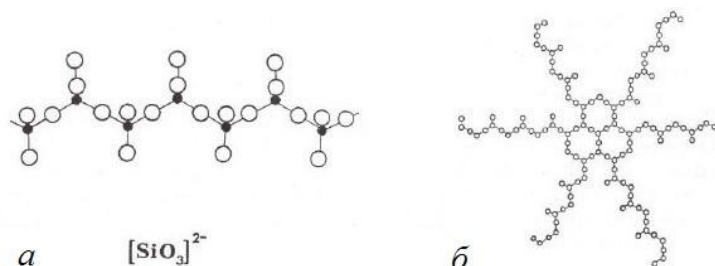


Рис. 2. *a* – структура цепочных силикатов (Брегг, Кларингбулл, 1967); *б* – расположение продольных микротрубочек в аксонемах *Nassellaria* (Cachon, Cachon, 1971).

Изучению физиологии и экологии радиолярий посвящены работы японских (Takahashi, 1991; Matsuoka, 1992, 1993, 2007) и американских (Anderson et al., 1989) исследователей и др.

Н.К. Кольцов – генетик, родоначальник исследований биофизики клетки, впервые ввел для одноклеточных понятие цитоскелета (Кольцов, 1936), позднее названного у радиолярий цитокалиммой (Anderson, 1981). В 1927 г. Кольцов вывел принцип матричного воспроизведения последовательности мономеров в полимерных цепях, который аналогичен кристаллизации. Этот принцип лёг в основу расшифровки молекул ДНК, выполненной Уотсоном и Криком в 1953 г.<sup>1</sup> Матричное формирование кристаллов в клетке радиолярий имело связь с их симметрией.

Д. Берналлом была высказана теория жидкокристаллического строения клеток (Bernal, 1967). Любой биогенный кристалл состоит из минеральных кристаллов и органических жидких кристаллов. В процессе минерализации большая часть жидкокристаллической матрицы замещается минеральными кристаллами, наследующими жидкокристаллическую симметрию: триплетный код заложен в молекуле ДНК. Молекулярный уровень исследований включает не только строение белков и нуклеиновых кислот, но и их функций.

Существование радиолярий не только в фотическом слое, но и на больших глубинах в океане, где действуют гидротермы, насыщающие водные массы различными элементами и соединениями, предполагает биохимическую зависимость радиолярий от среды – хемокремнесинтез. Считается, что раковины радиолярий состоят из аморфного кремнезема, но тогда чем обусловлена симметрия радиолярий? Только Фрэнкис Франкис (Francois, 1989) по результатам применения инфракрасного излучения выявил молекулярную структуру глубоководного аморфного кремнезёма: она оказалась состоящей из трех-размерных коротких цепочек тетраэдров  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  нано уровня, что характерно для симметричных кремниевых раковин радиолярий. Их формирование происходит в среде, в которой взаимодействуют водородные соединения огромного числа элементов, особенно Si, K, Mn, Al и др. Полиморфизм кремния и его свойства кристаллизоваться в тригональной и гексагональной симметрии проявлены у радиолярий в лучевых конструкциях, базальных иглах и др.

Экспериментальные исследования показали (Tochilina, 1996), что скрытокристаллическую структуру имеют раковины, представленные тетраэдром,

---

<sup>1</sup> О большом значении работ русского ученого Н.К. Кольцова по матричному воспроизведению последовательности мономеров в полимерных цепях писал Дж. Бурдон Халдейн (Haldane, 1945) – английский генетик и биометрист (в письме к Эрвину Шредингеру).

например, *Tetraplecta pinigera* Haeckel, *Cladoscenum pectinatum* Haeckel и др. Кроме этого микротетраэдр сохраняется в цефалических отделах, а близко-тригональная форма игл отмечается и у *Nassellaria*, и у *Spumellaria* (рис 3, 4, 7).

Результаты экспериментальных данных. Эксперимент в научном исследовании является доказательным утверждением на поставленный вопрос.

Основная задача моей работы в ТОИ ДВО РАН (с 1977 г.) – изучение стратиграфии и геологического строения осадочной толщи северо-запада Тихого океана.<sup>1</sup>

Классификация по пространственной симметрии и кристаллохимической структуре (Точилина, 2015) в самой большой степени способствовала работе по экостратиграфии и созданию зональных радиоляриевых шкал<sup>2</sup>.

Материал глубоководных разрезов осадочной толщи дна Тихого океана получен мною из рейсов: 19, 21, 31, 56, 57, 87 «Gl. Challenger» и 139, 145 и 189 «Joides Resolution» согласно Международным программам DSDP, ODP, IODP.

Изучение очень большого коллекционного материала показало колоссальное разнообразие радиолярий и их различную численность. Хорошая сохранность раковин радиолярий позволяет говорить о видовых популяциях. «Полиплоидия – единственный установленный способ мгновенного видообразования» (Майр, 1968, стр. 352). Современные физики считают, что образование вида происходит мгновенно – на квантовом уровне.

Для определения возраста осадочных слоев необходимы биофациальные исследования, в которых радиолярии служат важнейшим материальным носителем времени. Появившись в кембрийском периоде, радиолярии достигли огромного разнообразия в кайнозое во всех широтах Мирового океана.

Результаты изучения кайнозойских радиолярий нескольких областей Тихого океана и Тетиса (по глубоководным разрезам) позволили разделить радиолярии по пространственной симметрии и кристаллохимической структуре на два типа: *Nassellaria* (Точилина, 1996, 1987, 1988, 1996) и *Spumellaria* (Точилина, Goll, 2012). Четырехлучевая приадерная конструкция, заложенная в кембрийском периоде, представляет архетип и

---

<sup>1</sup> Проблемы стратиграфии осадочного слоя океана не могут быть решены, если классификации биоты построены только на молекулярных исследованиях мегасистематики, т.е. таксонов высокого таксономического уровня

В современной мегатаксономии в царстве Protozoa по анализу rDNA выделена супергруппа Rhizaria, включающая типы Cercozoa, Foraminifera и Radiozoa (Cavalier-Smith, 2004). А. Крабберт с соавторами (Krabberød et al., 2011) показали по анализам 18S и 28S rDNA развитие двух линий: Polycystina (*Spumellaria* и *Nassellaria*) и Spasmaria (*Acantaria*, *Taxopodida*).

<sup>2</sup> В зональных радиоляриевых шкалах кайнозоя приведены радиометрические даты абсолютного возраста

Nassellaria, и Spumellaria. Иерархия в течение фанерозоя отражает эволюцию возникновения новых классов, отрядов.

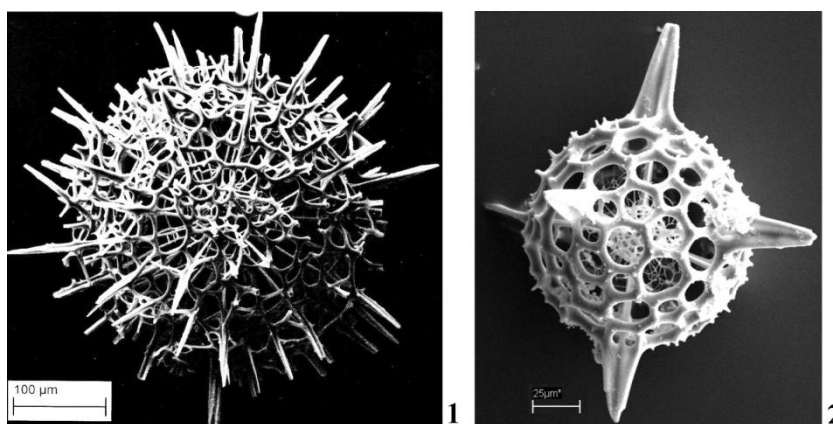


Рис. 3. Тип Spumellaria: 1 – *Elatomma juniperinum* Haeckel, 2 – *Hexastylus solonis* Haeckel.

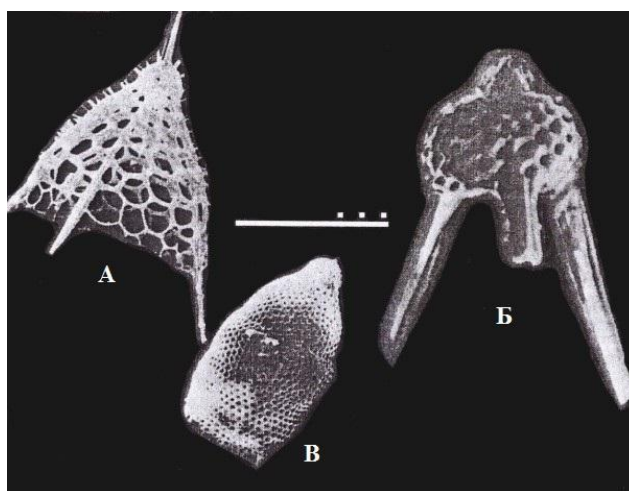


Рис. 4. Представители типа Nassellaria (Radiolaria): А – *Dictyophimus crisae* Ehrenberg (класс Trisymmetris); Б – *Lychnocanium grande* Campbell et Clark (класс Trisymmetris); В – *Eucyrtidium* ex gr. *acuminatum* Ehrenberg (класс Axisymmetris).

Обсуждая вопрос о симметрии радиолярий, следует еще раз обратиться к вулканическим и гидротермальным процессам дна Мирового океана, которые образовывали сложные системы с возмущениями. Шлейфы высокотемпературных гидротермальных флюидов поднимались в пелагиаль. Экспериментальные исследования геохимиков (Дриц, Коссовская, 1990 и др.) показали, что «в пелагиали океана одними из основных компонентов являются диоктаэдрические  $Fe^+$  – Al смектиты. Их формирование связано с разложением базальтовой кластики на дне океана» (с. 19): отрицательный заряд октаэдров приводит к замещению Si на Al, который находится в растворе.

Микронзондовый анализ (на анализаторе УХА-5) определил содержание в раковинах радиолярий не только кремния, но и алюминия (Точилина, Сапин, 2002). В этой же работе были получены разные по значениям коэффициенты  $Al_2O_3 / SiO_2$  для представителей двух классов в типе Nassellaria: для класса Trisymmetris коэффициенты равны 0.03-0.05, тогда как в классе Axisymmetris – 0.001, т. е. на порядок меньше (рис. 4). Полученные важные коэффициенты можно использовать для характеристики молекулярных связей в гидротермальных полях, обогащенных три- и диоктаэтрическими смектитами (оксид Si и Al).

Ниже приводятся примеры разных гидротермальных зон севера Тихого океана, в которых радиолярии имеют симметричную и близкосимметричную формы.

#### Глубоководная котловина северо-запада Тихого океана (скв. 436) (рис. 5).

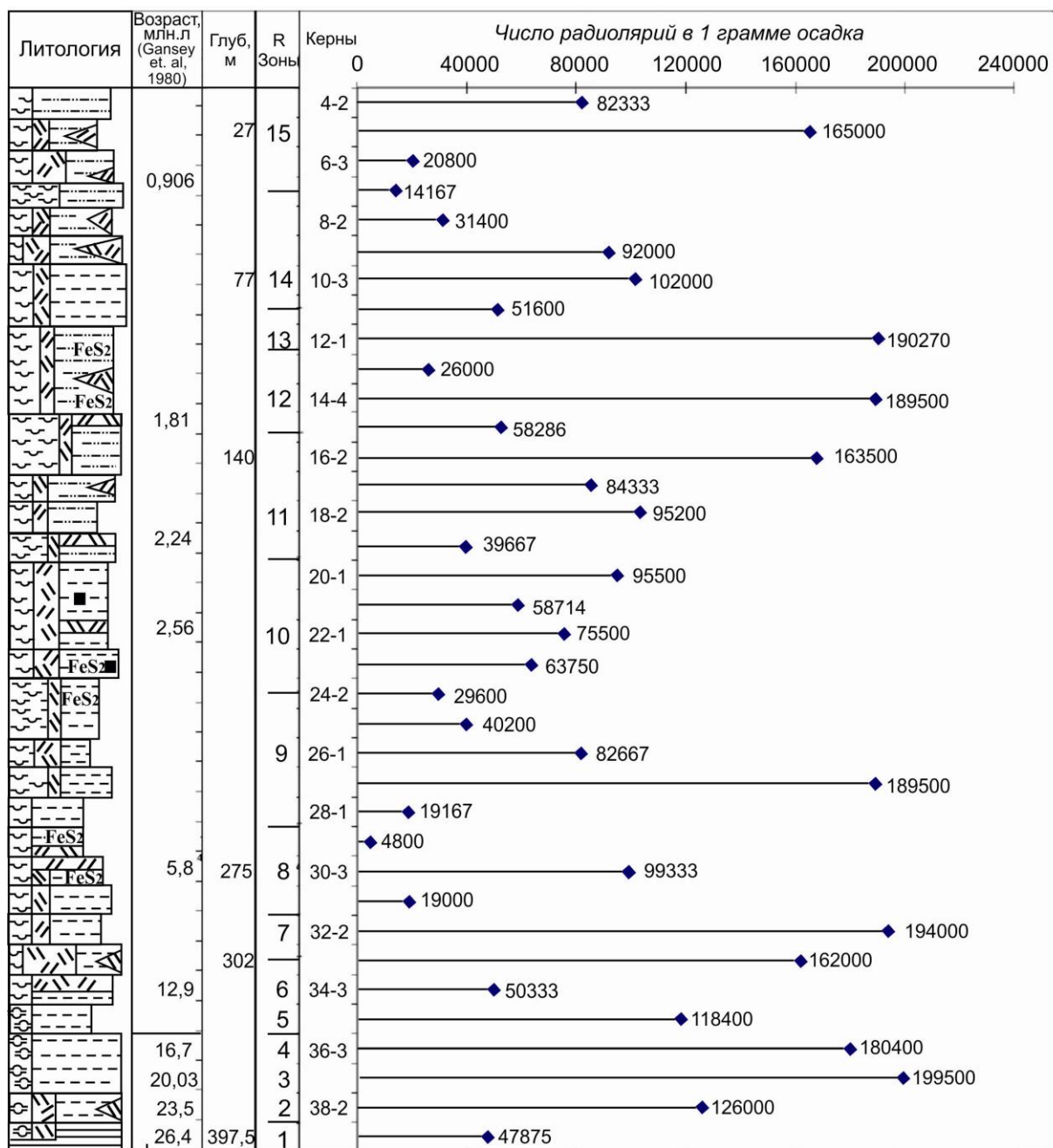
Обсуждаемый разрез пронизан вулканическим стеклом по всей глубине; в основании залегает слой пелагических глин, с очень высоким содержанием смектитов и аутигенных минералов. Пелагические глины образовывались в результате разложения дисперсного вулканического стекла при участии гидротерм (Курносов, 1998). Применение статистических методов позволило выявить прямую корреляцию общей численности радиолярий с  $SiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $MnO$ ,  $Al_2O_3$  и отрицательную с  $TiO_2$  и  $CaO$  (Точилина, Попов, 1986). Общая численность радиолярий очень высокая (их структурный состав в кайнозой меняется).

Гидротермальная зона хребта Хуан де Фука расположенная в северо-восточной части Тихого океана. Это зона «черных курильщиков», представленная слоями сульфидов железа, пиритом и марказитом. Слои рудной минерализации разделены алевритовыми осадками плейстоцена, в которых содержится малочисленная ассоциация радиолярий 150-200 экз./г (рис. 6). В этой зоне выявлена периодичность рудной минерализации (Точилина, 2004).

Стратиграфия осадочной толщи дна Мирового океана представляет сложную проблему, включающую несколько направлений: изучение органического мира и его эволюционных преобразований, минеральную компоненту каждого слоя, корреляцию и другое. Важнейшим элементом в экостратиграфическом анализе служат радиолярии как материальный носитель времени. Их изучение представляет большой спектр исследований.

Индекс-виды зональных радиоляриевых геохронологических шкал кайнозоя служат маркерами их доминирования в определенной области океана (рис. 7). Поэтому определение вида и его положение в классификации очень важны. Хорошая сохранность раковин радиолярий и большая численность позволяют говорить о популяции вида. В

проблеме определения вида также огромное значение имеют исследования физиков, которые привлекают квантовые скачки в видообразовании.



(Cande, Kent, 1995; Berggren, 1995)

Западно-Тихоокеанская котловина  
 Глубоководный разрез по скв. 436 (DSDP, Leg 56)  
 Координаты: 30°55,96' с.ш. 145°33,47' в.д.  
 Глубина воды: 5240 м  
 Глубина скважины: 397,5 м

**Рис. 5.** Глубоководный разрез 436 (DSDP, leg 56 «Glamor Challenger»). Радиоляриевые зоны: 1. *Eusyringium incrassatum* (Stohr); 2. *Theocorys cryptocephalum* (Ehrenberg); 3. *Cyrtocapsa compacta* Haeckel; 4. *Cyrtocapsa tetrapera* Haeckel; 5. *Lychnocanium fortipes* Haeckel; 6. *Theocapsa elongata* Nakaseko; 7. *Stichocorys huschkei* Haeckel; 8. *Lamprocyclas*

*rhinoceros* (Haeckel); 9. *Ariadnella numerosa* Tochilina; 10. *Diplocyclas cornuta* Bailey – *Stichocorys eruca* Ehrenberg; 11. *Spurioclastrocyclas sphaerics* Popova (= *Cycladophora sakaii* Motoyama); 12. *Artostrobium auritum* Ehrenberg; 13. *Cycladophora davisiana* Ehrenberg; 14. *Tholospira cervicornis* Haeckel – *Spurioclastrocyclas urymensis* Popova; 15. *Lychnocanium grande* Campbell et Clark – *Eucyrtidium tumidulum* Bailey.

Comparison of sequences zoned for calcareous (Martini, 1971) and for planktonic foraminifers (Lagoe and Thompson, 1988) and radiolarian layers (this paper)

Date (my)	Sample	Depth (mbsf)	Age	Radiolarian layers	Sample	Depth (mbsf)	Age	Foraminifer zone	Nannofossil zone
0.041	Hole 855 C		Hol	L. grande	Hole 855 C		Hol	CD1	NN21
	1R-03	3.44			1R-01 cm	0.0			
0.1	2R-04	14.14	Late Pleistocene	H.circumtextum	1R-CC	8.7	Late Pleistocene	CD2?	
	3R-02	19.33			2R-CC	17.7			
	4R-03	31.05			3R-CC	27.1			
0.2	6R-05	53.54	Late Pleistocene	E.quadrisphaera	4R-CC	36.6	Late Pleistocene	CD2?	
	7R-04	61.61			5R-CC	46.6			
	8R-02	66.91			6R-CC	56.1			
0.3	10R-05	89.60	Late Pleistocene	E.delicatulum	7R-CC	65.7	Late Pleistocene	CD2?	
	11R-1	95.81			8R-CC	75.2			
					9R-CC	84.9			
					10R-CC	94.6	Pleis.		
					11R-CC	101.2	Pleis.		

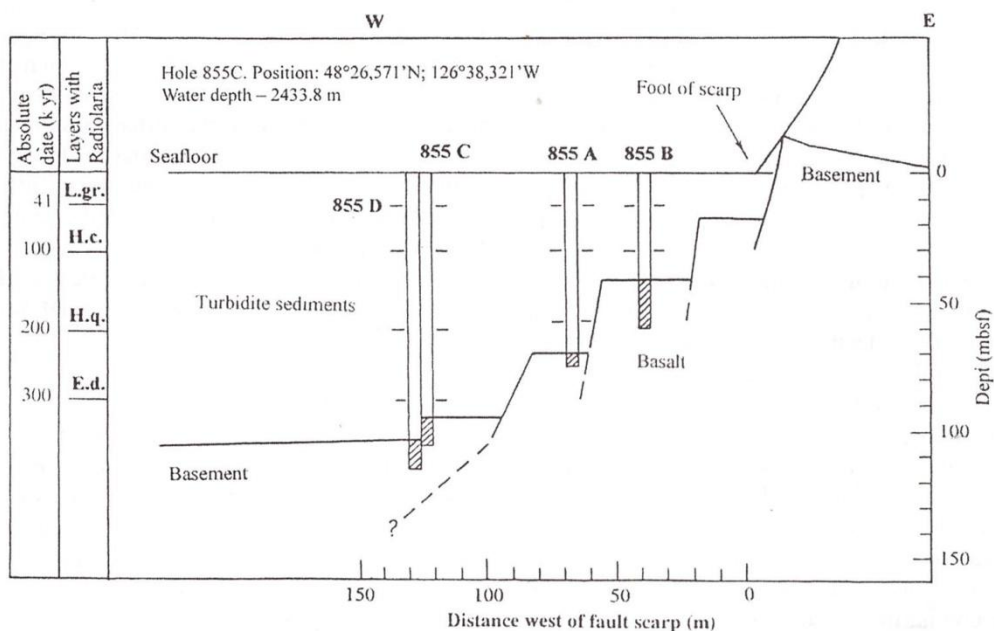
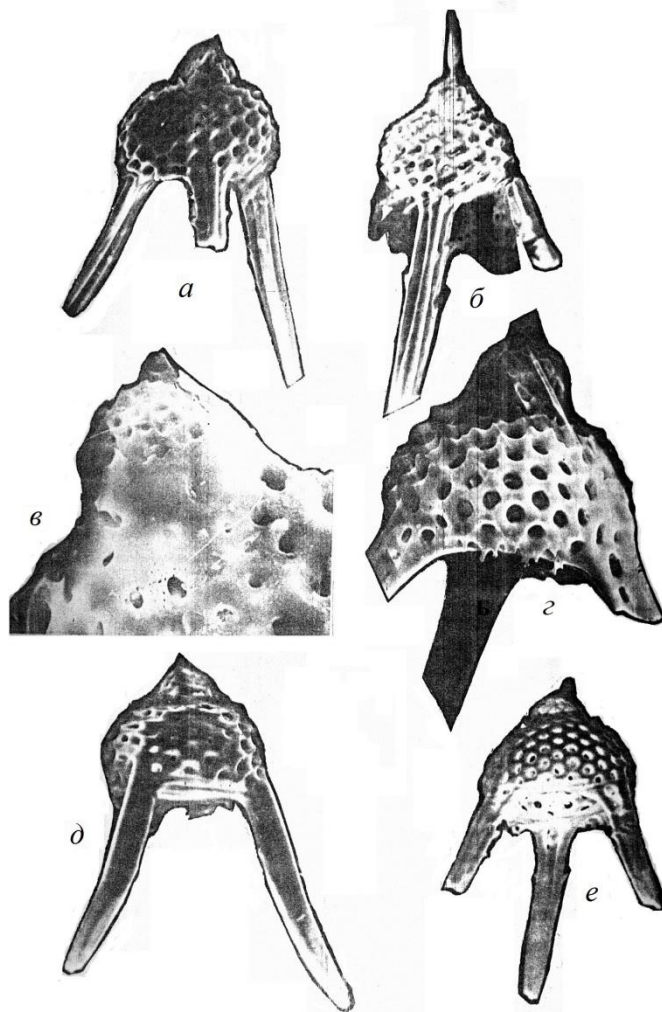


Fig. Juan de Fuca Ridge, Middle Valley. Position of Sites 855, Leg 139 "Joides Resolution". Layers with Radiolaria: E.d. – *Echinomma delicatulum*, H.q. – *Haliomma quadrisphaera*, H.c. – *Haliomma circumtextum*, and L.g. – *Lychnocanium grande*

Рис. 6.





**Рис. 7.** Трисимметричные радиолярии (тип Nassellaria) плейстоцена северной части Тихого океана (зона *Lychnocanium grande*): а, д – *Lychnocanium grande* Campbell et Clark, Японское море, юг возв. Ямато, ст. 6228; б – *Lychnocanium korotnevi* (Dogiel), Тихий океан, г. Мейджи, скв. 192-2-4; в – цефалический отдел *Lychnocanium grande* Campbell et Clark, на котором хорошо видно силикагелевое покрытие, закрывающее аксоподиальные отверстия, Берингово море, скв. 188-2-1 (x2000); г – *Lychnocanium grande* Campbell et Clark group. Тихий океан, скв. 173-3-4 (x1000); е – *Lychnocanium* sp., Тихий океан, скв. 183-3-1.

### Закключение

Симметрия несовершенна не только в живых организмах, но и в так называемой «мертвой» природе. Примером служат очень многие кристаллы неправильной формы, что полностью зависит от условий среды их формирования. Например, наиболее распространенный кварц  $\text{SiO}_2$ , формы которого часто весьма несовершенны. Кристаллическая структура кварца состоит из кремнекислородных тетраэдров.

Условия формирования только по температурному режиму обусловили образование двух его модификаций: 1) низкотемпературный  $\alpha$ -кварц, кристаллизующийся в тригональной сингонии; 2) высокотемпературный  $\beta$ -кварц, кристаллизующийся в гексагональной сингонии. В этих кристаллах часто встречается асимметрия.

Обращение к квантовой теории физики при изучении симметрии радиолярий гидротермальных областей океана продиктовано поиском путей к проблеме их развития. Это не само знание природы, а один из путей к её познанию.

Благодарности.

Эта работа посвящена светлой памяти академика Владимира Леонидовича Касьянова, оказавшего неоценимую помощь при обсуждении проблемы симметрии радиолярий в 2002-2004 году

Глубокую благодарность приношу замечательным физикам Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН – проф. д.ф.-м.н. У.Г. Копвиллему, проф. д.ф.-м.н. В.Ф. Козлову и проф. д.ф.-м.н. С.В. Пранцу за консультации и литературу по сложной проблеме квантовой физики.

Академику РАН О.Г. Кусакину и члену-корреспонденту РАН В.В. Михайлову за полезные замечания по микробиологии и за весьма положительные рецензии на монографию “Проблемы систематики *Nassellaria*. Биохимические особенности. Эволюция. 1997 г..

#### ЛИТЕРАТУРА

*Бор Н.* Атомная физика и человеческое познание. М.: Иностранная литература. 1961. Стр. 151.

*Брегг У.Л., Кларингбулл Г.Ф.* Кристаллическая структура минералов. М.: Мир, 1967. 271 с. *Вавилов Н.И.* Центры происхождения культурных растений. Ленинград. 1926. 248 с.

*Вернадский В.И.* Проблемы биогеохимии. - М.: Наука, 1980. - 320 с. - (Тр. / Биогеохим. лаб.; № 16)

*Виноградов А.П.* Биохимические провинции и их роль в органической эволюции // *Геохимия*, 1963. № 3. С. 199-213.

*Виноградов А.П.* Введение в геохимию океана М.: Наука, 1967. 215 с.

*Дриц В.А., Коссовская А.Г.* Глинистые материалы: смектиты, смешанослойные образования. М.: Наука, 1990. 214 с.

*Заварзин Г.А.* Бактерии и состав атмосферы. М. 1984, 192 с.

*Иванов В.Т., Готтих Б.П.* Нерасторжимое единство биологии, химии и физики // Вестн. РАН. 1999. Т. 69, № 5. С. 410-417.

*Ковальский В.* Геохимическая экология. М., 1974. 283 с.

*Кольцов Н.К.* Организация клетки // Сборник экспериментальных исследований, статей и речей. 1903-1935г. М.-Л.; Биомедгиз, 1936. 652 с.

*Курносков В.Б.* Гидротермальные изменения базальтов в Тихом океане и металлоносные отложения. М. Наука. 1986. 251 с.

*Кусакин О.Г., Дроздов А.Л.* Филема органического мира. Часть 2. Прокариоты и низшие эукариоты, Спб. Наука. 1998. 357 с,

*Лисицын А.П.* Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.

*Лисицын А.П., Богданов Ю.А., Гурвич Е.Г.* Гидротермальные образования рифтовых зон океана. М.: Наука, 1990. 254 с.

*Майр Э.* Зоологический вид и эволюция. М. 1968. С. 597.

*Михайлов В.В., Кузнецова Т.А., Еляков Г.Б.* Морские микроорганизмы и их вторичные биологически активные метаболиты. Владивосток: Дальнаука, 1999. 132 с.

*Рапопорт И.А.* Открытие химического мутагенеза. Избр. Тр. М.: Наука. 1993, 268 с.

*Решетняк В.В.* Вертикальное распределение радиолярий Курило-Камчатской впадины // Труды Зоол. Инст. АН СССР, 1955. № 21. С. 94-101.

*Сидоренко А.В.* Новое в учении о биосфере. М. 1984. 15 с.

*Точилина С.В., Попов В.С.* Корреляционный анализ минерального состава и радиолярий на примере опорного разреза кайнозоя Западно-Тихоокеанской плиты // Докл. АН СССР, 1986. т. 29 (2). С. 429-433.

*Точилина С.В., Сапин В.И.* Эффект применения микрозондового анализа для классификации Nassellaria (Radiolaria) // Доклады академии наук. Т. 383, 2002. № 2. С. 233-235.

*Точилина С.В., Вагина Н.К., Гапликова (Василенко) Л.Н.* Палеоокеанологические исследования северо-западной части Тихого океана на примере экологической дивергенции Radiolaria // Дальневосточные моря России /Исследования морских экосистем и ресурсов. Книга 2. М.: Наука, 2007. С. 579-590.

*Точилина С.В., Голл И.М.* О положении Radiolaria в мегатаксономии // Современная микропалеонтология: труды XV Всероссийского микропалеонтологического совещания (12-16 сентября 2012 г., Геленджик) М., 2012. С. 300-304.

*Точилина С.В.* О симметрии. Значение для систематики Radiolaria стр. 143-148. Труды XVI Всероссийского микропалеонтологического совещания. Калининград, 2015. «Современная микропалеонтология».

- Рапопорт И.А.* Открытие химического мутагенеза. Избр. Тр. М.: Наука. 1993, 268 с.
- Решетняк В.В.* Вертикальное распределение радиолярий Курило-Камчатской впадины // Труды Зоол. Инст. АН СССР, 1955. № 21. С. 94-101.
- Франк Г.М.* Избранные труды. М.: Наука, 1982. С. 161-180.
- Шрёдингер Э.* Что такое жизнь с точки зрения физика? М., 1972. С. 5-86.
- Эгами Ф.* Химическая эволюция в первобытном океане и роль в ней переходных элементов. Известия АН СССР. Сер. Биол. 1980 №4. С. 519-527.
- Anderson O.R., Bennet P., Bryan M.* Experimental and observational studies of radiolarian physiological ecology: 3. Effects of temperature, salinity and light intensity on the growth and survival *Spongaster tetras tetras* maintained in laboratory culture // Marine Micropaleontol. 1989. V. 14. № 4. P. 275-282.
- Bernal J, D.* *The origin of life.* 1967. Cleveland world Publishing. Co. №4. P. 368.
- Cachon J., Cachon M.* Le système axopodial des Radiolaires. Nassellaria // Archiv für Protistenkunde. 1971. N 113. S. 80-97.
- Cachon J., Cachon M.* Les systemes axopodiaux // Annu. biol. 1974. T. 13, fasc. 11, 12. P. 523-560.
- Haldane J. B. C.* A physicist looks at genetics // Nature, № 3935, 3103. 1945. Vol. 155. P. 375.
- Krabberød A.K. Bråte J., Dolven J.K et. al.* Radiolaria Divided into Polycystina and Spasmaria in Combined 18S and 28S rDNA Phylogeny // PLoSOne. 2011; 6(8): e23526.
- Matsuoka A.* Skeletal grown of a spongiöse radiolarian *Dictyocoryne truncatum* in laboratory culture // Mar.Micropaleontol. 1992 V. 19; 287 – 297.
- Matsuoka A.* Observations of living radiolarians from the surface water in the Caribbean Sea. News Osaka Micro-paleontol., 1993. Spec. Vol. 9. P. 349-363 (in Japanese, with English Abstr.).
- Matsuoka A.* Living radiolarian feeding mechanism: new light on past marine ecosystems // Swiss. J. geosi, Basel: Verlag. 2007. P.273 – 279.
- Rubey W.W.* In "The Origin and Evolution of Atmospheres and Oceans" (ed. by P.J. Brancazio and G.W. Cameron), J. Wiley and Sons, Inc., New York, 1964. P. 1-63.
- Takahashi K.* Radiolaria: flux, ecology, and taxonomy in the Pacific and Atlantic. In: Ocean Biocoenosis, Series No. 3, Honjo, S. (editor), Woods Hole Oceanographic Institution Press, 1991. 303 p.
- Tochilina S., De Wever P., Popova I.* Radiolarian Analysis for Paleogene of the Southern Part of the Russian Platform // 30<sup>th</sup> International Geological Congress: abstr. Vol. 2-3, Beijing, China, 1996. P. 103.

*Tochilina S.V.* Periodicity of hydrothermal system in the ocean over the Juan de Fuca Ridge (Leg 139, R/V «JOIDES Resolution») // *Metallogeny of the Pacific Northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins*. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P.676-679.

*Tochilina S.V.* On the systematics of Nassellaria (class Radiolaria) // 1-st Soviet- Chinese Symposium “Geology, geophysics, geochemistry and metallogeny of the transition zone from the Asiatic continent to the Pacific Ocean”. Nakhodka, 1987. P. 3-15.

*Tochilina S.V.* Classification of radiolarian and their stratigrafical meaning // 1-st Soviet-Chinese Symposium “Geology, geophysics, geochemistry and metallogeny of the transition zone from the Asiatic continent to the Pacific Ocean”. USSR, Nakhodka, September, 13-17, 1987 (preprint). Vladivostok, 1989. 36 p.

*Tochilina S.V., Popov V.S.* Correlation of chemical composition of sediment and the number of radiolarian fauna (Leg 139 “JOIDES Resolution”) // 30th International Geological Congress: abstr., vol. 2-3, Beijing, China, 1996. 186 p.

*Tochilina S.V., Goll I.P.* Systematics of the Phylum Spumellaria // Proceedings of 13<sup>th</sup> Interrad. A conference on Fossil and Recent Radiolarians 25-29 March. Radiolarian of the International Ass. of Radiolarian Paleontologists Newsletter. Spain, 2012. № 28. P. 100-104. ISSN: 0297-5270.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИКОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ПРИМОРЬЯ

Челомин В.П.<sup>1</sup>, Карпенко А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток,  
Россия;

<sup>2</sup> Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток, Россия  
e-mail: chelomin@poi.dvo.ru

Более полувека назад синтетические полимеры (в литературе – «пластик») начали вытеснять природные материалы, практически, во всех сферах деятельности человека. Сегодня пластик стал неотъемлемой частью нашей жизни, пронизывая все сферы деятельности человека: от предметов быта, личной гигиены, медицины и разнообразных упаковочных изделий до промышленности, где в ряде позиций вытеснил стекло, дерево и металл. Популярность в использовании пластика стала причиной экспоненциального роста производства с 0.5 млн. т в 1950 г. до более 300 млн. т в 2014 г. (PlasticEurope, 2015). Масштабное производство полимеров привело к стремительному увеличению пластмассовых отходов, загрязняющих окружающую среду. Отслужившие свой срок пластиковые изделия переполняют многочисленные свалки мусора, разносятся ветром, различными водотоками и, в конечном счете, неизбежно попадают в морскую среду. Масштабы выноса пластикового мусора настолько велики, что в настоящее время под воздействием океанических течений в пяти районах Мирового океана (по два в Атлантическом и Тихом океанах и один в Индийском) сформировались гигантские скопления плавающего мусора, получившие название «пластиковые острова» («пластиковый суп»).

Обилие плавающего пластикового мусора в Мировом океане стало глобальной экологической проблемой. Еще более серьезной экологической проблемой, осознанной экологами относительно недавно, становится появление в морской среде микроскопических частиц пластика, образующихся в результате разрушения крупных пластиковых изделий. Детальные механизмы распада и «время жизни» пластика в морской среде неясны. Известно только, что процесс разложения синтетических полимеров очень сложен и, в зависимости от условий среды и химического состава полимеров, длится от 100 до 1000 лет. Но в морской среде синтетические полимеры под воздействием УФ лучей, температуры, кислорода, ряда химических преобразований и

постоянного перемешивания относительно быстро теряют свои первоначальные свойства, становятся жесткими, хрупкими и распадаются на мелкие фрагменты разного размера. Такие частицы размером от нескольких миллиметров до нескольких микрон, получили определение в литературе – «микропластик». Частицы микропластика не остаются только на поверхности, а, в зависимости от разных факторов и по мере фрагментации, начинают оседать, распределяясь в толще морской среды, и постепенно скапливаются на дне. Из экспериментальных и расчетных данных следует, что на поверхности в настоящее время находится только малая доля пластика, основная его часть (практически 99% всей массы) распалась и медленно оседает или уже опустилась на дно океана. Дисперсионный микропластик во многих районах Мирового океана постепенно вытесняет планктон, источник пищи для всего живого в океане, и занимает его место в пищевых цепях, конечным звеном которых может быть человек.

К сожалению, в России серьезные исследования в этой области только начинаются и для мирового научного сообщества экологические проблемы загрязнения морей России, в том числе дальневосточных морей и прибрежных акваторий, до сих пор остаются «белым пятном».

Для преодоления этого отставания был адаптирован комплекс специальных методик на основе Рамановской микроспектроскопии, атомно-силовой и витальной микроскопии для изучения физико-химических и экотоксикологических характеристик поведения «микропластика» в природных средах.

Рамановская микроспектроскопия (РМС) – неинвазивный метод, позволяющий получать информацию о химическом составе, как от целой микрочастицы, так и отдельных её участков. Это открывает перспективы исследования микропластиков как на уровне целой, не повреждённой микрочастицы, так частицы подвергшейся воздействию абиотических и биотических факторов среды. Современная атомно-силовая микроскопия (АСМ) позволяет работать с объектами на молекулярном и субатомарном уровнях разрешения. АСМ – это измерение топографии поверхности, её механических свойств (модуль упругости, адгезия, диссипация энергии, деформация); заряд, потенциал, магнитное поле и теплопроводность также доступны измерению. Эти данные можно получать как в газовой среде, так и в жидкости. Сигнал РМС можно многократно избирательно усилить с помощью поверхностного плазмонного резонанса (ППР), применяя соответствующие подложки на основе наночастиц благородных металлов, оксидов титана, олова, и др. Данный подход получил название SERS – surface enhanced Raman spectroscopy. Этот метод, объединенный с АСМ техникой и известный как метод TERS (tip enhanced Raman spectroscopy), позволяет получать информацию о физических и

химических особенностях строения объекта с нанометровым разрешением, создавая его изображение в исследуемых величинах. Эта техника объединяется со световым микроскопом и системами жизнеобеспечения (витальная микроскопия) в единый исследовательский комплекс.

Разработанный комплекс методических подходов позволяет решать следующие задачи:

- Получение РМС спектров опорных образцов пластиков и их продуктов деградации до микрочастиц в природных средах.
- Исследование физико-химических свойств частиц микропластиков из природной среды с целью установления особенностей фото- и механо-биodeградации синтетических полимеров различного химического состава.
- Создание физических моделей деградации отдельных пластиков с целью ускорения (оптимизации) утилизации в местах их скопления.

При изучении вод и планктонного сообщества бухты Золотой Рог с применением этого комплекса методов «кристаллы» микропластика были обнаружены как в водной толще, так и в представителях зоопланктона. Предварительные результаты анализов показали, что среди частиц микропластика преобладают образцы полистирольного (ПС) и полипропиленового (ПП) рядов. Приводятся данные РМС анализа природной деградации ПЭ, ПС и ПП полимеров. Экотоксикологические аспекты и происхождение этих микрочастиц пластика обсуждаются.



# ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЩИТКОВ КАРАПАКСА У НОВОРОЖДЕННЫХ ОЛИВКОВОЙ (*LEPIDOCHELYS OLIVACEA*) И ЗЕЛЁНОЙ (*CHELONIA MYDAS*) ЧЕРЕПАХ С ЮЖНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОСТРОВА ШРИ-ЛАНКА

Г.О. Черепанов, Е.Б. Малашичев

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: g.cherepanov@spbu.ru; y.malashichev@spbu.ru

Щиткование, или фолидоз – важная особенность внешней морфологии черепах, имеющая как таксономическое, так и филогенетическое значение. Наличие крупных эпидермальных щитков характерно для большинства таксонов этой группы рептилий. Общая схема фолидоза отличается большой эволюционной стабильностью. За более чем 200 млн. лет она не претерпела существенных изменений в сравнении с древнейшими известными черепахами (Gaffney, 1990). Эта стабильность связана, прежде всего, с консерватизмом генетической основы формирования щитков, что в свою очередь обуславливает стабильность процессов морфогенеза (Moustakas-Verho, Cherepanov, 2015).

Наряду с филогенетической консервативностью общего паттерна черепахи характеризуются широким спектром индивидуальной изменчивости щиткования (Zangerl, Johnson, 1957; Ewert, 1979; Cherepanov, 2014). Считается, что эта изменчивость связана, прежде всего, с негативным воздействием внешних факторов среды (Lynn, Ullrich, 1950; Vujes, Verrastro, 2007 и др.). Экстремальный температурный режим, повышенная или пониженная влажность, химическое загрязнение могут приводить к нарушению процессов эмбрионального развития и появлению различного рода аномалий и уродств (Velo-Antón, 2011). Как показали эксперименты, температурные воздействия в критические периоды эмбриогенеза могут приводить к 100% аномальности щиткования среди вылупившихся черепахат (Zimm et al., 2017). Однако в естественных природных популяциях процент аномальных особей обычно невелик.

Для выявления естественного спектра вариабельности щитков мы исследовали природные популяции двух видов морских черепах – оливковой (*Lepidochelys olivacea*) и зелёной (*Chelonia mydas*) на южном побережье острова Шри-Ланка. Яйца черепах собирали из естественных кладок и инкубировали на территории черепаховой фермы в г. Косгода. Этот район побережья Индийского океана характеризуется климатическими условиями, оптимальными для размножения черепах, стабильным температурным режимом, чистыми песчаными пляжами, минимальным загрязнением прибрежных вод. Исследования проводили на протяжении двух сезонов (ноябрь-февраль 2015–2016 и 2016–

2017 г.). Новорожденных черепашат фотографировали, затем проводили подробное описание особенностей их фолидоза. В целом было изучено 655 экз. *L. olivacea* из 7 кладок и 341 экз. *Ch. mydas* из 5 кладок.

По строению рогового покрова оливковая черепаха представляет собой уникальный вид, характеризующийся значительной изменчивостью щиткования. Таким образом, это хороший модельный объект, позволяющий получить массовый материал по изменчивости щитков без применения нарушающего эмбриогенез экспериментального воздействия. Зелёная черепаха, напротив, характеризуется стабильным щиткованием панциря. Вариабельность фолидоза у этого вида связана, в основном, с воздействием внешних факторов (Ergine, et al., 2011) и, следовательно, *Ch. mydas* может служить природным индикатором состояния внешней среды.

Для исследованных нами новорожденных особей *Ch. mydas* характерен низкий уровень изменчивости мозаики щитков (табл.). Подавляющее большинство особей (97%) имеет симметричный план строения фолидоза с типичным для этого вида паттерном 1–12–4–5–4–12 (загривковый – левые краевые – левые рёберные – позвоночные – правые рёберные – правые краевые щитки). Только у 10 черепах (3%) отмечены единичные дополнительные аномальные щитки. Низкий уровень изменчивости новорожденных зелёных черепах на побережье Шри-Ланки в сравнении с данными по средиземноморской популяции *Ch. mydas* с 21.9% новорожденных аномальных особей (Ergine, et al., 2011), по-видимому, говорит об оптимальных условиях инкубации яиц. Можно предположить, что эти условия хорошо подходят и для других гнездящихся здесь видов морских черепах, в том числе *L. olivacea*.

Среди новорожденных *L. olivacea* выявлено 120 паттернов щиткования карапакса, различающихся по числу загривковых, позвоночных, рёберных и краевых щитков. Симметричные паттерны обнаружены у 399 черепах (60.9%) и представлены 34 вариантами (28.3%). Наиболее часто встречаются 4 паттерна (1–13–5–5–5–13, 1–13–6–5–6–13, 1–13–6–6–6–13 и 1–13–7–7–7–13), обнаруженные у 249 черепах (38%) приблизительно в равной пропорции. Число асимметричных паттернов преобладает (86 вариантов или 71,7%). Частота проявления каждого не велика. Самые значимые среди них 1–13–6–6–7–13, 1–13–7–6–6–13, 1–13–6–7–7–13 и 1–13–7–7–6–13, их частота встречаемости варьирует в пределах 3.5–4.1%.

Наиболее изменчивы щитки позвоночной и рёберной серий, число щитков в которых варьирует от 4 (5) до 10. Наличие 5, 6 и 7 позвоночных щитков – это самые частые и пропорционально равнозначные варианты (соответственно у 30.2, 28.4 и 35.8% черепах). Остальные варианты редки или единичны и встречены не более чем у 5.6%

черепах. Увеличение щитков позвоночного ряда осуществляется, прежде всего, за счет появления дополнительных элементов в задней половине карапакса. Дополнительные щитки в передней части карапакса относительно редки, встречены менее чем у 9% черепах. Стандартное для большинства морских черепах число рёберных щитков (5) наблюдается у относительно немногих исследованных *L. olivacea* (16.5%).

Таблица. Число, распределение и частота встречаемости (%) щитков карапакса у новорожденных особей *Lepidochelys olivacea* и *Chelonia mydas* (L – левая сторона, R – правая сторона, N – число особей)

Название щитков	Число щитков	<i>Lepidochelys olivacea</i>		<i>Chelonia mydas</i>		
		N	%	N	%	
Загривковые	0	23	3.5	-	-	
	1	602	91.9	341	100	
	2	30	4.6	-	-	
	4	1	0.15	-	-	
Позвоночные	5	198	30.2	331	97	
	6	186	28.4	6	1.8	
	7	234	35.8	4	1.2	
	8	33	5	-	-	
	9	1	0.15	-	-	
	10	2	0.3	-	-	
	Рёберные	3\4	-	-	1	0.3
		4\4	-	-	333	97.6
		4\5	-	-	3	0.9
		5\4	-	-	4	1.2
5\5		79	12.1	-	-	
5\6		15	2.3	-	-	
5\7		1	0.15	-	-	
6\4		-	-	1	0.3	
6\5		10	1.5	-	-	
6\6		138	21.1	-	-	
6\7	63	9.6	-	-		
6\8	5	0.75	-	-		
7\5	3	0.45	-	-		
7\6	78	11.9	-	-		

	7\7	138	21.1	-	-
	7\8	25	3.8	-	-
	7\9	1	0.15	-	-
	8\6	4	0.6	-	-
	8\7	26	4	-	-
	8\8	46	7	-	-
	8\9	7	1.1	-	-
	9\7	2	0.3	-	-
	9\8	4	0.6	-	-
	9\9	8	1.2	-	-
	9\10	2	0.3	-	-
Краевые	10\12	1	0.15	-	-
	12\12	2	0.3	340	99.7
	12\13	1	0.15	-	-
	13\12	3	0.45	-	-
	13\13	607	92.7	1	0.3
	13\14	9	1.35	-	-
	14\13	13	2	-	-
	14\14	18	2.75	-	-
	15\14	1	0.15	-	-

Асимметрии и симметрии среди них встречаются в отношении 1:4. Новорожденные оливковые черепахи с шестью и семью парами рёберных щитков встречаются с одинаковой частотой в 21.1%, с 8 парами – 7%, с 9 парами – 1.2%. В целом, равное число левых и правых рёберных щитков обнаружено у 409 новорожденных черепах, что составляет 62.4% от исследованных особей.

Число краевых щитков варьирует от 10 до 15. У большинства вылупившихся черепах (92.7%) их 13 пар, и это можно считать нормальным состоянием. Лишь у 7 черепах (1.1%) обнаружено меньше 13 краевых щитков на одной или двух сторонах тела. Более частым вариантом отклонения от нормы является присутствие одного или пары дополнительных краевых щитков в каудальной части карапакса (6.25%).

Наличие множества вариантов строения щиткования при отсутствии какого-либо одного преобладающего паттерна щитков у *L. olivacea* указывает на уникальный характер организации фолидоза у этого вида черепах. Можно согласиться с мнением Притчарда (Pritchard, 1969), что строение щитков карапакса этой черепахи настолько вариабельно, что не представляется возможным выделить его норму. Тем не менее, в изученной нами популяции оливковой черепахи обнаруживаются несколько относительно высокочастотных состояний фолидоза (1–13–5–5–5–13, 1–13–6–6–6–13, 1–13–7–7–7–13), демонстрирующих общую тенденцию полимеризации щитков при сохранении их билатеральной симметрии.

Интересно отметить, что щиткование новорожденных оливковых черепах из разных гнезд характеризуется собственным, отличным от других, спектром изменчивости. Для сравнения приведем данные по двум кладкам.

Наличие множества вариантов строения щиткования при отсутствии какого-либо одного преобладающего паттерна щитков у *L. olivacea* указывает на уникальный характер организации фолидоза у этого вида черепах. Можно согласиться с мнением Притчарда (Pritchard, 1969), что строение щитков карапакса этой черепахи настолько вариабельно, что не представляется возможным выделить его норму. Тем не менее, в изученной нами популяции оливковой черепахи обнаруживаются несколько относительно высокочастотных состояний фолидоза (1–13–5–5–5–13, 1–13–6–6–6–13, 1–13–7–7–7–13), демонстрирующих общую тенденцию полимеризации щитков при сохранении их билатеральной симметрии.

Интересно отметить, что щиткование новорожденных оливковых черепах из разных гнезд характеризуется собственным, отличным от других, спектром изменчивости. Для сравнения приведем данные по двум кладкам.

У черепах из первой кладки (N=108) минимальное среди изученных кладок число паттернов щиткования (17), наиболее часто встречающийся вариант – 1–13–6–5–6–13

(27.8%). Число позвоночных и рёберных щитков варьирует в диапазоне от 5 до 7. Большинство черепах имеет 5 позвоночных щитков (57.4%), при этом для них не характерно наличие 5 рёберных щитков (встречено только у 5.5% особей этой кладки). Доля черепах с равным числом рёберных щитков на обеих сторонах тела (симметричное состояние) составила 68.5%, что существенно выше среднего значения по всем кладкам.

Черепашки из второй кладки (N=80) реализуют 48 паттернов щиткования, наиболее часто (18.7%) встречается паттерн 1-13-7-7-7-13, остальные найдены в основном у единичных экземпляров черепах. Позвоночные и рёберные щитки варьируют по числу в широком диапазоне, но с явным смещением в сторону его увеличения (до 8-10 в серии). Доля черепах с равным числом левых и правых рёберных щитков ниже среднего уровня (56.2%), что говорит о сравнительно высокой степени их асимметрии. Кроме того, черепахи из этой кладки имеют несколько специфических высокочастотных аномалий (наличие парного загривкового щитка – 15%, дополнительных краевых щитков – 21.2%, слияние 1 и 2 позвоночных щитков – 12.5%), которые редки или несвойственны черепахам из других кладок.

Большинство исследователей связывает появление аномалий щитков с воздействием неблагоприятных факторов среды в период инкубации. Однако для некоторых аномалий предполагают генетическую природу. На этом основании, было предложено различать две формы variability щитков у черепах (Zangerl, 1969). Первая – аномалии онтогенеза – нарушения, связанные с повреждениями в ходе индивидуального развития. Вторая – повторяющиеся аномалии – вариации мозаики щитков, возникающие с определенной для данного вида частотой и предположительно являющиеся фенотипическим проявлением variability генотипа. В результате наблюдений и ряда экспериментов удалось установить, что в разных популяциях черепах частота встречаемости аномальных особей тоже различна. Было показано, что эти различия связаны с разной степенью устойчивости популяций к воздействию неблагоприятных факторов среды, возможно, обусловленной генетически (Cordero-Rivero et al., 2008; Velo-Antón et al., 2011). Наши данные по оливковой черепахе показали, что различия в характере аномалий щитков могут проявляться и на уровне отдельных размножающихся пар. Дифференциация спектров изменчивости щитков у новорожденных *L. olivacea* из разных кладок и наличие специфических для ряда кладок аномалий, по-видимому, в большей степени обусловлены генетическими различиями их родителей, чем влиянием внешних факторов.

Исследование поддержано грантом на проведение НИР из средств Санкт-Петербургского государственного университета № 0.38.292.2015 «Развитие и эволюция

скелета позвоночных: от эмбриологии и палеонтологии к пониманию комплексных эволюционных преобразований и адаптаций» (Мероприятие 2), и экспедиционным грантом из средств СПбГУ № 1.42.1095.2016 «Зоологическая экспедиция на Цейлон по изучению черепах и слонов» (Мероприятие 6).



## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЩИТКОВ КАРАПАКСА У НОВОРОЖДЕННЫХ ОЛИВКОВОЙ (*LEPIDOCHELYS OLIVACEA*) И ЗЕЛЁНОЙ (*CHELONIA MYDAS*) ЧЕРЕПАХ С ЮЖНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ШРИ-ЛАНКИ

Г.О. Черепанов, Е.Б. Малашичев

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

[g.cherepanov@spbu.ru](mailto:g.cherepanov@spbu.ru), [y.malashichev@spbu.ru](mailto:y.malashichev@spbu.ru)

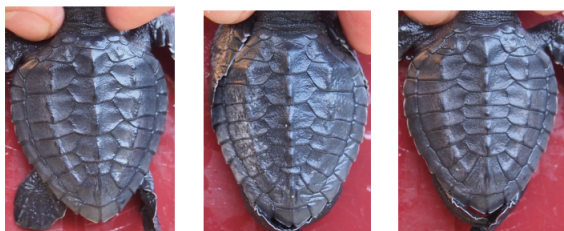
Для выявления естественного спектра варируемости щитков панциря черепах исследованы природные популяции двух видов – оливковой (*Lepidochelys olivacea*) и зелёной (*Chelonia mydas*) морских черепах на южном побережье острова Шри-Ланка. Яйца черепах собирали из естественных кладок и инкубировали на территории черепаховой фермы в г. Косгода. Исследования проводили на протяжении двух сезонов (ноябрь-февраль 2015-2016 и 2016-2017 гг.). Новорожденных особей фотографировали, затем проводили подробное описание особенностей их фолидоза. В целом было изучено 655 экз. *L. olivacea* и 341 экз. *Ch. mydas*.

По строению рогового покрова оливковая черепаха представляет собой уникальный вид, характеризующийся значительной изменчивостью щиткования. Таким образом, он является хорошим модельным объектом, позволяющий получить массовый материал по изменчивости щитков без применения нарушающего эмбриогенез экспериментального воздействия. Зелёная черепаха, напротив, характеризуется стабильным щиткованием панциря. Варируемость фолидоза у этого вида связана, в основном, с воздействием внешних факторов (Ergine, et al., 2011), и, следовательно, *Ch. mydas* может служить природным индикатором состояния внешней среды.



Аномальные особи *Ch. mydas* с асимметричным расположением щитков карапакса.

Для исследованных новорожденных особей *Ch. mydas* (N=341) характерен низкий уровень изменчивости мозаики щитков. Подавляющее большинство особей (97%) имеет симметричный план строения фолидоза с типичным для этого вида паттерном – 1-12-4-5-4-12 (загрявковый - левые краевые - левые рёберные - позвоночные - правые рёберные - правые краевые щитки). Только у 10 черепах (3%) имеются дополнительные аномальные щитки. Низкий уровень изменчивости новорожденных зелёных черепах на побережье Шри-Ланки (в сравнении с данными по средиземноморской популяции *Ch. mydas* с 21,9% новорожденных аномальных особей, Ergine, et al., 2011), по-видимому, говорит об оптимальных условиях инкубации их яиц. Можно предположить, что эти условия хорошо подходят и для другого гнездящегося здесь вида – *L. olivacea*.



Примеры варируемости щиткования карапакса у новорожденных особей *L. olivacea*.

Среди новорожденных *L. olivacea* (N=655) выявлено 120 различных паттернов щиткования карапакса. Симметричные паттерны обнаружены у 399 черепах (60,9%) и представлены 34 вариантами (28,3%). Наиболее часто встречаются 4 паттерна (1-13-5-5-13, 1-13-6-5-6-13, 1-13-6-6-6-13 и 1-13-7-7-7-13) обнаруженные у 249 черепах (38%) приблизительно в равной пропорции. Число асимметричных паттернов преобладает (86 вариантов или 71,7%). Частота проявления каждого не велика и не превышает 4,1%. Наиболее изменчивы щитки позвоночной и рёберной серий, число щитков в которых варьирует от 4 до 10. Самыми частыми и пропорционально равнозначными вариантами являются варианты с наличием 5, 6 и 7 позвоночных щитков (у 30,2%; 28,4%; 35,8% черепах). Увеличение щитков позвоночного ряда осуществляется, прежде всего, за счет появления дополнительных элементов в задней половине карапакса. В передней части карапакса дополнительные щитки относительно редки. Стандартное для большинства морских черепах равное 5 число рёберных щитков наблюдается у относительно немногих исследованных *L. olivacea* (16,5%). Асимметрии и симметрии среди них встречаются в отношении 1:4. Новорожденные оливковые черепахи с 6 и 7 парами рёберных щитков встречаются с одинаковой частотой в 21,1%, с 8 парами – 7%, с 9 парами – 1,2%. В целом, равное число левых и правых рёберных щитков обнаружено у 409 новорожденных черепах, что составляет 62,4% от исследованных особей. Число краевых щитков варьирует от 10 до 15. Большинство выплывших черепах (92,7%) имеют 13 их пар, и это можно считать нормальным состоянием. Лишь у 7 черепах (1,1%) обнаружено меньше 13 краевых щитков на одной или двух сторонах тела. Более частым вариантом отклонения от нормы является присутствие одного или пары дополнительных краевых щитков в каудальной части карапакса (6,25%).

Наличие множества вариантов строения фолидоза при отсутствии какого-либо одного преобладающего паттерна щитков у *L. olivacea* указывает на уникальный характер организации фолидоза у этого вида черепах. Можно согласиться с мнением Причарда (Pritchard, 1969), что строение щитков карапакса этой черепахи настолько варибельно, что не представляется возможным выделить его норму. Тем не менее, в изученной нами популяции оливковой черепахи обнаруживаются несколько относительно высокочастотных состояний фолидоза (1-13-5-5-5-13, 1-13-6-6-6-13, 1-13-7-7-7-13), демонстрирующих общую тенденцию полимеризации щитков при сохранении их билатеральной симметрии.

Число рёберных щитков (слева)					Число позвоночных щитков	Число рёберных щитков (справа)						
10	9	8	7	6		4	5	6	7	8	9	10
					4							
			14	21	3	5	3	21	14	0		
		6	5	0			3	6	5	3		
	0	5	14		6			14	5			
	1	7	9					7	10			
		3	3		7			3	3	1		
		2	1					2	1			
					8							
					9							
					10							

Спектр вариантов соотношения числа рёберных и позвоночных щитков на разных сторонах тела у новорожденных особей *Lepidochelys olivacea* из первой кладки (N = 108). В числителе указано количество экземпляров новорожденных, имеющих равное число левых и правых рёберных щитков, в знаменателе количество новорожденных, имеющих разное число левых и правых рёберных щитков. Варианты, встречающиеся у 10 и более процентов черепах данной кладки, затушеваны.

Щиткование *L. olivacea* из разных гнезд характеризуется собственным отличным от других спектром изменчивости. Для сравнения приведем данные по двум кладкам. Черепахи из первой кладки (N=108) имеют минимальное среди изученных кладок число паттернов щиткования (17), наиболее часто встречающийся вариант – 1-13-6-5-6-13 (27,8%). Число позвоночных и рёберных щитков варьирует в диапазоне от 5 до 7. Большинство черепах имеет 5 позвоночных щитков (57,4%), при этом 5 рёберных щитков им не характерно (встречено у 5,5% особей их этой кладки). Доля черепах с равным числом рёберных щитков обеих сторонах тела (симметричное состояние) равна 68,5%, что существенно выше среднего значения по всем кладкам.

Число рёберных щитков (слева)					Число позвоночных щитков	Число рёберных щитков (справа)						
10	9	8	7	6		4	5	6	7	8	9	10
				1	4			1				
				0				0				
				1	5			1				
				1				1				
0			2	4	6			4	2			
1			3	1				3	2			
0		1	13	8	7			0	8	13	1	0
1		9	6	2				1	7	6	1	2
		4	1	0				0	2	1	4	
		2	5	3				2	3	3	2	
					9							
1					10						0	1

Спектр вариантов соотношения числа рёберных и позвоночных щитков на разных сторонах тела у новорожденных особей *Lepidochelys olivacea* из второй кладки (N = 80). Объяснение см. выше.

Черепахи из второй кладки (N=80) реализуют 48 паттернов щиткования, при этом наиболее часто встречающийся паттерн – 1-13-7-7-7-13 (18,7%), остальные найдены в основном у единичных экземпляров черепах. Позвоночные и рёберные щитки варьируют по числу в широком диапазоне, но с явным смещением в сторону его увеличения (до 8-10 в серии). Доля черепах с равным числом левых и правых рёберных щитков ниже среднего уровня – 56,2%, что говорит о сравнительно высокой степени их асимметрии. Кроме того, черепахи из этой кладки имеют несколько специфических высокочастотных аномалий (наличие парного загрявкового щитка (15%), дополнительных краевых щитков (21,2%), слияние 1 и 2 позвоночных щитков (12,5%), которые несвойственны или редки у черепах из других кладок.

Большинство исследователей связывает появление аномалий щитков с воздействием неблагоприятных факторов среды в период инкубации (Lynn, Ullrich, 1950; Vujes, Verrastro, 2007; Zimm et al., 2017 и др.). Однако для некоторых аномалий предполагают генетическую природу (Zangerl, 1969; Cordero-Rivero et al., 2008; Velo-Antón et al., 2011). Наши данные по оливковой черепахе указывают на то, что различия в характере аномалий щитков могут проявляться и на уровне отдельных разнопомещающихся пар. Дифференциация спектров изменчивости щитков у новорожденных *L. olivacea* из разных кладок и наличие специфических для ряда кладок аномалий, по-видимому, обусловлены в большей степени генетическими различиями их родителей, чем влиянием внешних факторов, поскольку все кладки инкубировались в сходных условиях.

Исследование поддержано грантами Санкт-Петербургского государственного университета № 0.38.292.2015 и № 1.42.1095.2016.

# МОРФОЛОГИЯ И СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОМАТИЧЕСКИХ КЛЕТОК ГОНАД ТИХООКЕАНСКОЙ УСТРИЦЫ

О.В. Юрченко, А.В. Калачев

*Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток, Россия*

*e-mail: olyurchenko@yandex.ru*

Гонада моллюсков – это диффузный, сезонно функционирующий орган, представляющий собой хорошо согласованный ансамбль половых и соматических клеток. Ацинусы, структурные единицы гонад, в зависимости от периода репродуктивного цикла содержат половые клетки на разных стадиях развития. Снаружи ацинусы окружены миоэпителиальными клетками и погружены в матрикс соединительной (запасающей) ткани.

Тихоокеанская устрица – признанный во всем мире объект промысла и модельный объект в биологических исследованиях, однако большая часть исследований, связанных с размножением этого вида, сфокусирована на изучении репродуктивных циклов и процессов, происходящих в половых клетках. Хотя в условиях непостоянной окружающей среды нормальный гаметогенез и сохранение высокой плодовитости связаны с наличием соматических, а именно запасающих, клеток и тканей.

Пространственное расположение клеток соединительной ткани возле ацинусов, насыщенность их цитоплазмы питательными веществами и сезонная размерная динамика этих клеток делают очевидной их связь с процессами гаметогенеза, протекающими внутри ацинусов. В ходе репродуктивного цикла наблюдается обратная зависимость в динамике площадей ацинусов и соединительной ткани, т.е. на пике репродуктивной активности и в преднерестовый период клетки запасающей ткани занимают минимальную площадь, лишь изредка визуализируясь между крупными ацинусами. Но в период восстановления ацинусы, в которых находятся единичные половые клетки, едва видны между крупными клетками соединительной запасающей ткани.

Согласно гистологическим данным, запасающая ткань сформирована крупными клетками гексагональной формы с маленьким ядром, локализованным на периферии клетки; ШИК окрашивание демонстрирует большое количество углеводов, распределенных в цитоплазме. Учитывая всю важность клеток запасающей ткани для нормального развития гамет, мы провели морфологический анализ запасающих клеток, локализованных в области гонады.

В начале гаметогенеза, как и в процессе роста половых продуктов, клетки запасающей ткани занимают большую часть срезов, формируя кластеры вокруг



ацинусов. Каждая клетка неправильной формы, размером 20–30 мкм. На гистологическом уровне с помощью специфического окрашивания в цитоплазме обнаруживаются гликоген и липидные капли. Внутриклеточное распределение липидов в клетках одного кластера может отличаться и быть равномерным или периферическим. Кроме того, внутри одного кластера могут присутствовать клетки, как с умеренным, так и с очень высоким содержанием липидов. Электронно-микроскопическое исследование выявило области с признаками распада липидных капель (липолиз), что, вероятно, связано с расщеплением липидов до низкомолекулярных соединений и дальнейшим использованием продуктов липолиза. Внутриклеточное распределение гликогена неравномерно, наибольшие его концентрации отмечены в примембранной области. Часть гликогена формирует палочковидные структуры, которые визуализируются на ультраструктурном и на гистологическом уровнях. Каждая клетка содержит одно периферическое ядро. На ультраструктурном уровне в ядре видны одно крупное или несколько маленьких ядрышек и глобулы конденсированного хроматина, равномерно распределенные в нуклеоплазме. Округлые или слегка удлинённые митохондрии локализируются в перинуклеарном или примембранном пространстве. Элементы синтезирующего аппарата представлены редкими периферическими цистернами гладкого эндоплазматического ретикулула и большим количеством мелких (не более 50 нм) электронно-прозрачных пузырьков. На поверхности клеток отмечаются многочисленные цитоплазматические отростки, переплетение которых обеспечивает довольно плотное прилегание клеток друг к другу. Ультраструктурный анализ обращенной к ацинусу поверхности клетки также демонстрирует большое количество цитоплазматических отростков, которые, вероятно, задействованы в транспорте питательных веществ. Сезонные отличия в тонкой организации клеток запасавшей ткани проявляются, главным образом, в изменении размера клеток и содержания в них липидов. По мере активизации процессов гаметогенеза размер клеток уменьшается, количество липидных включений в цитоплазме снижается. Однако признаки клеточной смерти (конденсация ядра, нарушение структуры митохондрий, вакуолизация или фрагментация цитоплазмы) на стадиях прогрессирующего гаметогенеза не обнаружены. Полученные данные позволят приблизиться к пониманию алгоритма функционирования клеток запасавшей ткани в течение года, а также механизма их восстановления, популяционного или цитоплазматического обновления перед следующим репродуктивным циклом.

## ЭВОЛЮЦИЯ МУЖСКИХ ГАМЕТ НЕМАТОД: ДЕЛО ОТРЯДА RHABDITIDA (NEMATODA)

В.В. Юшин

*Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток, Россия*

*e-mail: vvyushin@ yandex.ru*

Данные по строению и развитию сперматозоидов широко используются для анализа филогенетических взаимоотношений внутри многих типов многоклеточных животных. До сих пор такой анализ не проводился среди нематод во многом из-за отсутствия данных по многим ключевым группам типа. В настоящее время только отряд Rhabditida, включающий множество паразитических групп, изучен относительно полно. Новые оригинальные исследования нематод из четырех надсемейств отряда вместе с данными, уже имеющимися в литературе, позволяют провести первую оценку мужских гамет рабдитид со сравнительно-цитологической точки зрения. Сперматозоиды рабдитид, как и вообще нематод, относят к аберрантному типу мужских гамет, эти сперматозоиды лишены аксонемы и акросомы. У рабдитид сперматозоиды – это подвижные амебоидные клетки с передней псевдоподией и задним главным телом клетки, включающем ядро без ядерной оболочки, митохондрии и мембранные органеллы (МО). У рабдитид два типа уникальных органелл, МО и волокнистые тела (ВТ), развиваются в виде характерных ВТ-МО комплексов в сперматоцитах. Каждый такой комплекс включает одно МО и одно паракристаллическое ВТ, содержащее цитоскелетные белки. Комплексы распадаются на компоненты в сперматиде и незрелом сперматозоиде. Процесс развития комплекса завершается в зрелом (активированном) сперматозоиде из половых путей самок. Белки, составлявшие ВТ, трансформируются в волокна цитоскелета псевдоподии. МО открываются наружу порами и выделяют содержимое на поверхность сперматозоида, но после этого остаются в виде постоянных мембранных мешков, открытых вовне. Синхронное развитие уникальных органелл в виде характерного ВТ-МО комплекса – наиболее характерная черта развития сперматозоидов нематод-рабдитид. В то же время, в некоторых кладах рабдитид обнаружены сперматозоиды, значительно отличающиеся по морфологии и развитию от «рабдитидного» типа. Описанные у рабдитид явления диморфизма и миниатюризации сперматозоидов также говорят о необыкновенной пластичности мужских гамет в отряде. В настоящее время формализованный сравнительный анализ сперматозоидов отряда рабдитид невозможен, но многие, уже имеющиеся данные, все же помогают в оценке сложных вопросов филогении отряда.